

輸送用燃料の Well-to-Wheel 評価
バイオ燃料を中心とした輸送用燃料製造
(Well-to-Tank)における温室効果ガス排出量に
関する研究報告書

平成 20 年 12 月

トヨタ自動車株式会社
TOYOTA MOTOR CORPORATION

みずほ情報総研株式会社
Mizuho Information & Research Institute, Inc.

※ 本報告書の内容に関する問い合わせ先

みずほ情報総研株式会社 環境・資源エネルギー部

〒101⁻⁰⁰⁵⁴ 東京都千代田区神田錦町 3-1

TEL : 03-5281-5282 FAX : 03-5281-5466

URL : <http://www.mizuho-ir.co.jp/kankyo/>

E-mail : info@mizuho-ir.co.jp

本報告書の無断複写は著作権法上の例外を除き、禁じられています。本報告書に記載されている文章、図表等を複写使用する場合はあらかじめトヨタ自動車及びみずほ情報総研の許可を受けて下さい。

また、本報告書に記載された情報の利用にあたっては各自の判断に基づき行うものとし、トヨタ自動車及びみずほ情報総研はそれによって生じた一切の損害については責任を負いかねます。

はじめに

みずほ情報総研株式会社は 2004 年 11 月、トヨタ自動車株式会社からの委託を受け、将来の輸送用燃料の方向性を検討する上で重要な指標の一つとなる、輸送用燃料を製造する際の温室効果ガス排出量に関する調査研究を実施し、研究報告書としてまとめた（みずほ情報総研 [2004]）。

同調査を実施した当時、バイオマス資源を起源とする燃料の **Well-to-Tank**（一次エネルギーの採掘から燃料タンクに充填されるまで）に係る情報も十分ではなかったため、同報告書においては基本的に公表されているデータを中心に把握・整理することに務めた。その後、バイオマス資源を起源とする燃料に関わる動向は劇的に変化し、世界各国で普及し始めているとともに、それらに関する様々な情報の収集が以前より可能となりつつある状況にある。

本報告書は、前回に引き続き、みずほ情報総研がトヨタ自動車からの委託を受け、バイオマス資源を起源とした燃料を中心とした **Well-to-Tank** でのエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量について、新たに収集・整理した情報をもとに算出した結果をまとめたものである。

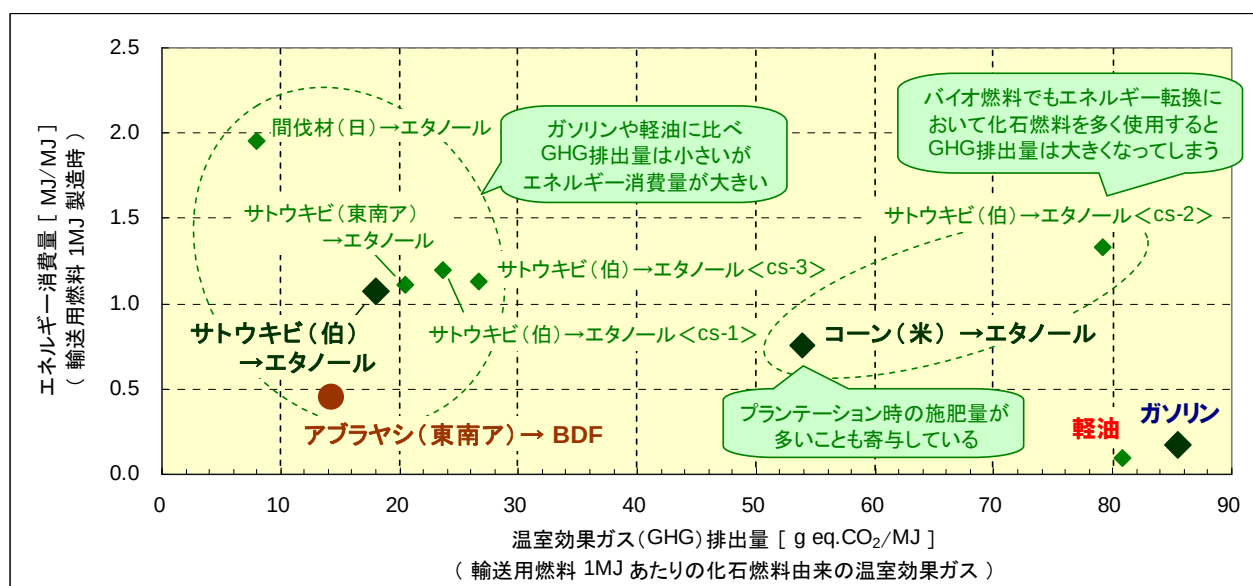
2008 年 12 月

みずほ情報総研株式会社
環境・資源エネルギー部

概 要

本報告では、特にバイオ燃料に焦点をあて、前回の報告以降、新たに収集・整理した情報をもとに Well-to-Tank（一次エネルギーの採掘から燃料タンクに充填されるまで）でのエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の算出を行った。バイオ燃料製造パスの選定にあたっては、前回の報告とは異なり日本国内に限定せず、導入が進みつつある世界の主要国・地域を広く対象とした。また、温室効果ガス排出量のうち CO₂ 排出量については、その発生源別（化石燃料由来、バイオマス由来）に整理した。

輸送用燃料 1 MJ を製造する時のエネルギー消費量と温室効果ガス排出量の関係については、バイオ燃料の多くは、ガソリンや軽油に比べ温室効果ガス排出量は半分以下と小さいものの、多くのエネルギーを消費するという結果が得られた（概図 1 参照）。また、コーンからのエタノール製造パスのように、プランテーション時の施肥量が多いパスや燃料転換時のエネルギー源に化石燃料を用いているパスでは温室効果ガス排出量の値は大きくなった。なお、本結果には、昨今注目されつつある土地の利用の変化に伴う温室効果ガスは考慮していない。これらの扱いについては今後の検討課題の一つである。



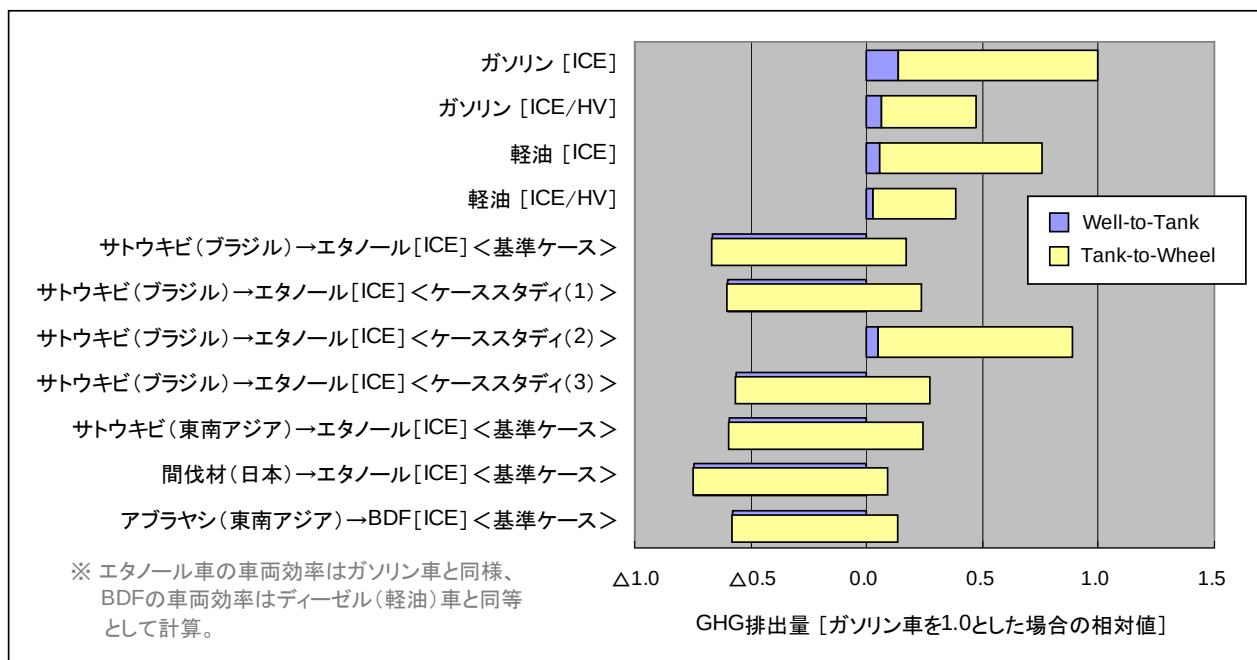
概図 1 輸送用燃料 1 MJ を製造する時のエネルギー消費量と温室効果ガス排出量の関係

（図中の<cs-○>はケーススタディの略（後述「※用語の解説」ご参照））

また、前回報告に引き続き、参考までに Tank-to-Wheel（燃料タンクから車両走行まで）に関するデータとあわせた、日本におけるセダン系乗用車の所定の条件下での Well-to-Wheel（一次エネルギーの採掘から車両走行まで）での温室効果ガス排出量の一例を算出した（概図 2 参照）。

バイオ燃料は、原料の種類や産地の違いにより Well-to-Wheel での温室効果ガス排出量は大きくばらつく結果となったものの、ガソリン車より小さい値となった。

なお、本報告で示した Well-to-Wheel での温室効果ガス排出量の算出結果は、ある条件下でのケーススタディであり、この結果によってバイオ燃料の種類及び各製造パスの優劣を議論できるものではない。バイオ燃料については、原料の生産場所や燃料の利用場所、供給量、使い勝手等、幅広い見地から総合的に評価していくことが必要である。



概図 2 日本における Well-to-Wheel での温室効果ガス排出量算出結果の一例

※用語の解説

ICE : Internal Combustion Engine (内燃機関)

HV : Hybrid Vehicle (ハイブリッド車)

BDF : Bio Diesel Fuel (生物由来油から作られる軽油代替燃料の総称)

サトウキビ(ブラジル)→エタノール[ICE]

<ケーススタディ(1)> ブラジルにおいてバガス余剰分をエタノール原料として利用するケース

<ケーススタディ(2)> 所内エネルギーとして利用しているバガスをエタノール原料にまわし、その代替エネルギーとして新たに軽油を投入するケース

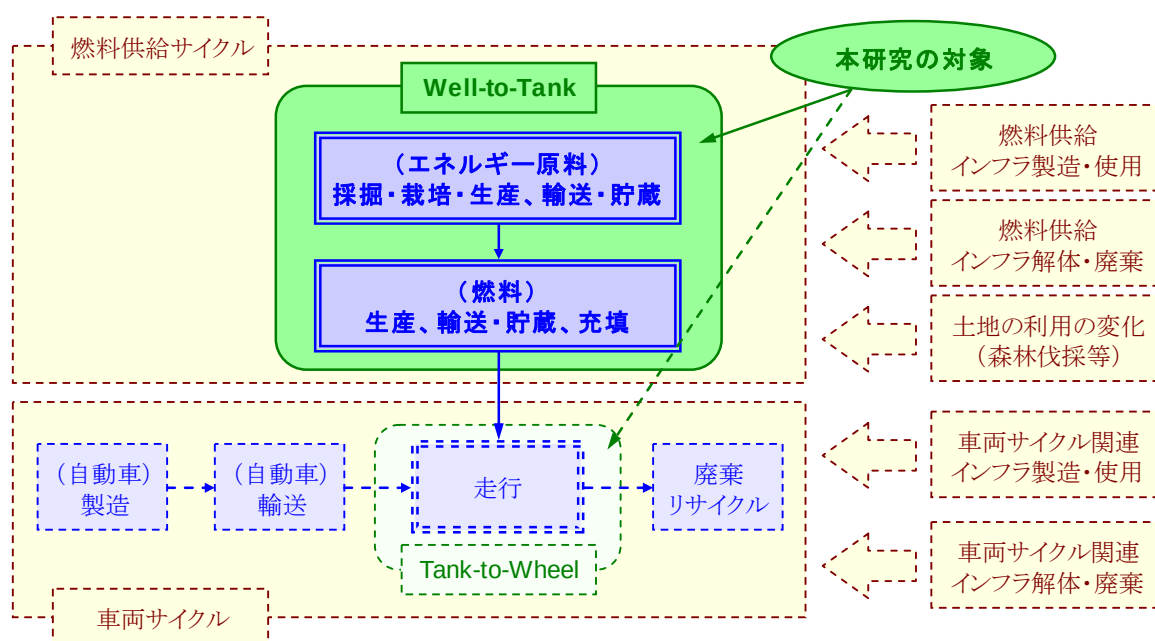
<ケーススタディ(3)> 省エネルギー技術を導入して増加したバガス余剰分をエタノール原料として利用するケース

補足説明：本研究内容の報告にあたって

[1] Well-to-Tank と自動車の LCA との関係

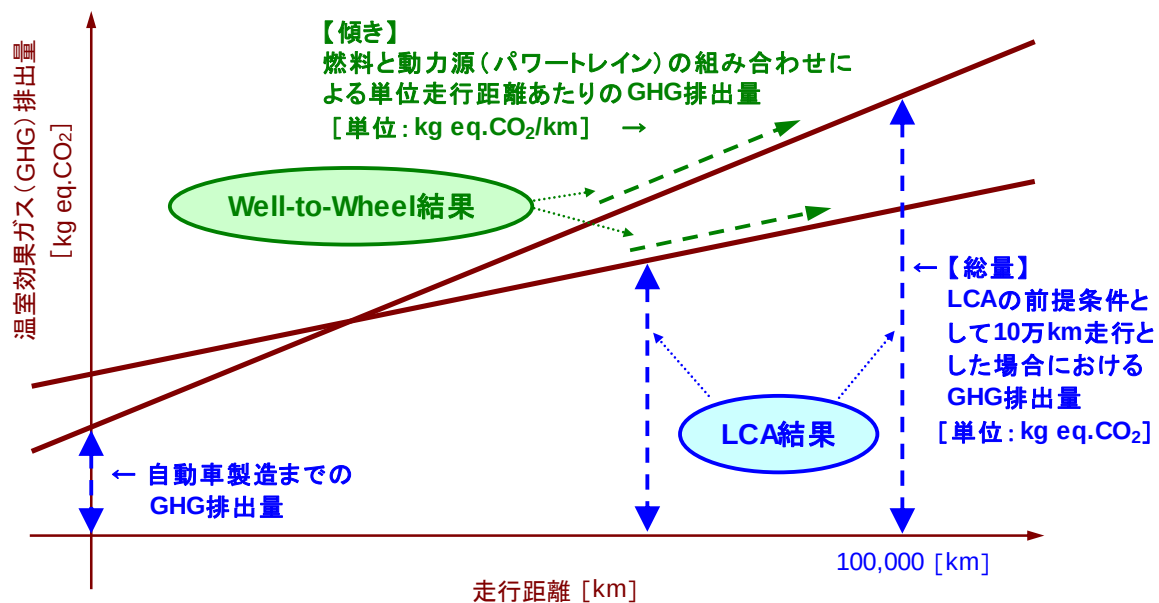
ライフサイクルアセスメント（LCA）とは、原材料の採取（鉄鉱石の採掘等）から製造、輸送、使用及び廃棄に至るすべての過程（すなわち、人間に例えるならばゆりかごから墓場までの全生涯）を通して、製品やサービスが環境に与える負荷の大きさを定量的に整理、評価する手法のことである。例えば、製造に必要な原材料を減らす等部分的に環境負荷を軽減しても、製品の使用段階でエネルギー消費量が増えてしまえば、環境問題の解決には繋がらない。環境保全を進めるためには、製品のライフサイクル全体を通して、環境に与える負荷の大きさを評価し、その削減を進めていくことが不可欠である。

一方、Well-to-Wheel（一次エネルギーの採掘から車両走行まで）とは、自動車に関する LCA のうち、自動車在使用段階で消費する燃料のライフサイクルに焦点を当てて検討する手法のことである。そして、本報告で取り上げた Well-to-Tank（一次エネルギーの採掘から燃料タンクに充填されるまで）とは、Well-to-Wheel のうち、エネルギー原料の採掘・栽培から輸送用燃料を製造し自動車の燃料タンクに充填されるまでの部分に注目したものである（補図 1 参照）。



補図 1 自動車のライフサイクルの各段階と本報告の対象範囲
（波線部分は本報告の対象外）

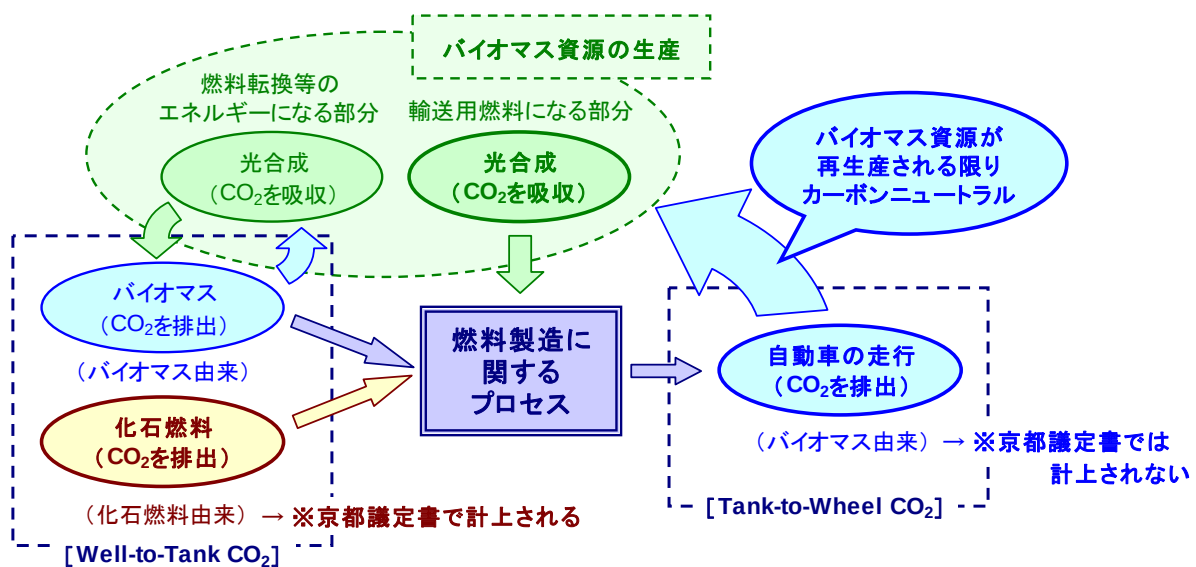
Well-to-Wheel での評価は、将来の自動車用燃料や動力源（パワートレイン）を評価する指標の一つとして一般的に使用されている。LCA での算出結果は、自動車の製造やある想定距離を走行したこと等に伴い発生する環境負荷の総量を表すのに対し、Well-to-Wheel での算出結果は、燃料と動力源に組み合わせによる単位量（例えば、走行距離や発熱量等）あたりの環境負荷の量を表している（補図 2 参照）。このように、Well-to-Wheel とは自動車のライフサイクルで最も重要な走行段階に焦点を当てた評価手法の 1 つである。



補図2 Well-to-Wheel 結果と自動車の LCA 結果との関係

[2] カーボンニュートラル

カーボンニュートラル (Carbon Neutral) とは、一連の人為的活動を行った際に排出される CO₂ と吸収される CO₂ が同じ量であることをいう。バイオ燃料の場合、その元となる植物等のバイオマス資源に含まれる炭素分は、植物がその成長過程で光合成により大気中の CO₂ を吸収したものである。従って、バイオ燃料を燃焼してエネルギーに利用しても、その植物を再生産する限り、大気中の CO₂ は変化しないという概念である。本報告では、これらカーボンニュートラルとして扱われる CO₂ の量を「バイオマス由来」として整理している。



補図3 本報告での CO₂ 排出量とカーボンニュートラルとの関係

－ 目 次 －

はじめに

概 要 (1)

補足説明：本研究内容の報告にあたって (3)

 [1] Well-to-Tank と自動車の LCA との関係 (3)

 [2] カーボンニュートラル (4)

1. 問題意識と目的 1

2. 調査範囲 2

 2.1 世界におけるバイオ燃料の政策動向及び導入状況 2

 2.1.1 米国 2

 2.1.2 ブラジル 5

 2.1.3 欧州 7

 2.1.4 東南アジア（タイ） 9

 2.1.5 東南アジア（マレーシア） 10

 2.1.6 東南アジア（インドネシア） 11

 2.1.7 日本 12

 2.2 評価対象とする燃料製造（Well-to-Tank）パス 13

 2.3 環境負荷項目 14

 2.4 算出方法 15

3. Well-to-Tank に関するデータの収集手順及び算出方法（基準ケース） 16

 3.1 バイオエタノール 16

 3.1.1 米国 16

 3.1.2 ブラジル 25

 3.1.3 欧州 28

 3.1.4 東南アジア 34

 3.1.5 日本 37

3.2 バイオディーゼル燃料 (BDF)	44
3.2.1 米国	44
3.2.2 ブラジル	47
3.2.3 欧州	49
3.2.4 東南アジア	52
4. ケーススタディ	56
4.1 海外でのバイオエタノールに関するケーススタディ	56
4.1.1 米国におけるコーンストーバーの利用	56
4.1.2 ブラジルにおける余剰バガスの利用	58
4.1.3 欧州における小麦わらの利用	61
4.2 日本でのバイオエタノールに関するケーススタディ	62
4.2.1 稲わらの利用	62
4.2.2 欧州 ETBE の輸入	63
4.2.3 ブラジルからの輸入エタノールの ETBE 利用	64
4.2.4 東南アジアからの輸入エタノールの ETBE 利用	65
5. 結果の考察と今後の展開	67
5.1 評価対象としたバイオ燃料の Well-to-Tank における算出結果	67
5.1.1 バイオエタノール	67
5.1.2 ETBE	69
5.1.3 BDF	70
5.2 結果の考察と今後の展開について	71
5.2.1 バイオエタノール	71
5.2.2 BDF	73
5.2.3 輸送用燃料 1 MJ 製造時のエネルギー消費量と温室効果ガス排出量の関係	74
5.2.4 今後の展開	74
5.3 [参考] Well-to-Wheel での温室効果ガス排出量の算出結果の一例	75
6. 参考文献	77

1. 問題意識と目的

燃料電池自動車（FCV）の実用化が視野に入り、ガソリン車、ハイブリッド車とともに動力源の選択肢が増える一方で、燃料の多様化も進みつつある。このような背景のもと、自動車が引き続き社会の中で活用されるために、自動車の利便性を犠牲にすることなく、環境負荷を軽減するために役立つ様々な技術や燃料の可能性を検討するための基礎情報を把握することが本研究の目的である。

前回の報告（みずほ情報総研 [2004]）では、日本において輸送用燃料として考えられる様々な燃料製造パスについて調査・整理するとともに、それら各パスにおける Well-to-Wheel（一次エネルギーの採掘から車両走行まで）でのエネルギー消費量、温室効果ガス排出量を積み上げ形式にて算出した。

その後、特にバイオマス資源を起源とする燃料（以下、バイオ燃料）については、様々な国・地域において各種技術開発が実施されるとともに、当時と比べ市場規模も大きく変化している。本研究の目的に資するためには、これらの内容を反映した基礎情報の見直しが必要であると考えられる。また、バイオ燃料については「カーボンニュートラル」が免罪符となっていることについての懸念も出始めている。このような懸念にこたえるためにも、バイオ燃料の種類や製造パスの違いによる Well-to-Wheel での温室効果ガス排出量を定量的に把握しておくことが重要である。

本報告では、特にバイオ燃料に焦点をあて、前回の報告以降、新たに収集・整理した情報をもとに Well-to-Tank（一次エネルギーの採掘から燃料タンクに充填されるまで）でのエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の算出を行った。なお、バイオ燃料製造パスの選定にあたっては、前回の報告とは異なり日本国内に限定せず、導入が進みつつある世界の主要国・地域を対象に、①既に実現している、②将来実現する可能性が高い、③実現した場合の波及効果が大きい、という視点から行った。また、温室効果ガス排出量のうち CO₂ 排出量については、その発生源別（化石燃料由来、バイオマス由来）に整理した。

2. 調査範囲

前回の報告では、評価対象とする輸送用燃料製造パスは日本国内に限定した。本研究が各国・各地域でのエネルギー事情やインフラストラクチャーの整備、規制の状況に応じて、自動車と燃料の最適な組み合わせを追求していくという視点から、特にバイオ燃料製造パスの選定にあたっては、日本国内に限定せず、導入が進みつつある世界の主要国・地域に注目して行うこととした。なお、本報告では、バイオ燃料として、昨今注目されている液体燃料の「バイオエタノール」と「バイオディーゼル燃料（BDF）」を対象とした。

バイオ燃料製造パスの選定にあたり、はじめに現時点での世界におけるバイオ燃料の政策動向及び導入状況を整理しておく。

2.1 世界におけるバイオ燃料の政策動向及び導入状況

バイオ燃料の生産及び消費という視点から、米国、ブラジル、欧州、東南アジア、日本の5つの国・地域について整理した（本内容は2008年3月時点での状況をもとに作成している）。

2.1.1 米国

（1）政策動向

1998年に公布された大統領令13134号「バイオ製品とバイオマスエネルギーの開発・促進に関する大統領令」により、バイオマスエネルギーに関する技術開発や導入が加速化された。クリントン政権時代、バイオマスエネルギーは環境保護、農業保護、エネルギーセキュリティの確保の3点から導入が進められており、発電やエタノールに関する技術開発が盛んに実施されてきた。

また、2005年に制定された包括エネルギー法により、再生可能燃料使用基準（Renewable Fuel Standard（RFS））が定められ、2012年に75億ガロン（＝約2,840万キロリットル）の導入を義務付けることとなった。その後、エタノールの導入は順調に進み、義務量を上回るペースで製造されている。

2007年に一般教書演説の中で、2017年におけるバイオ燃料の導入義務量を350億ガロンとする旨の発表がなされ、エタノール工場建設の計画は大幅に増加する。また、2007年末に成立した新エネルギー法においてRFSは大きく見直され、2022年におけるバイオ燃料導入義務量を360億ガロンとすることが決定された。新たなRFSで定められたバイオ燃料導入義務量360億ガロンのうち、150億ガロンがコーン由来エタノール等の従来型（conventional）燃料、210億ガロンがセルロース系エタノール等の次世代（advanced）燃料とされている（図2.1.1参照）。

（2）導入状況

① バイオエタノール

米国におけるバイオエタノールの生産設備容量を図2.1.2に示す。2007年には2,000万キロリットルを突破し、更に拡張・運用開始予定を入れれば2008年中に4,000～5,000万キロリットル

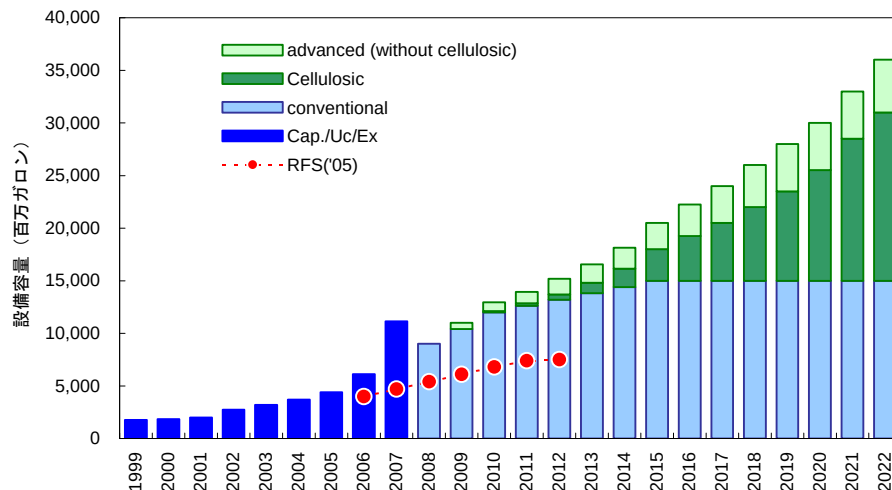


図 2.1.1 米国におけるバイオ燃料導入義務量
【出典】 DOE 資料をもとにみずほ情報総研が作成

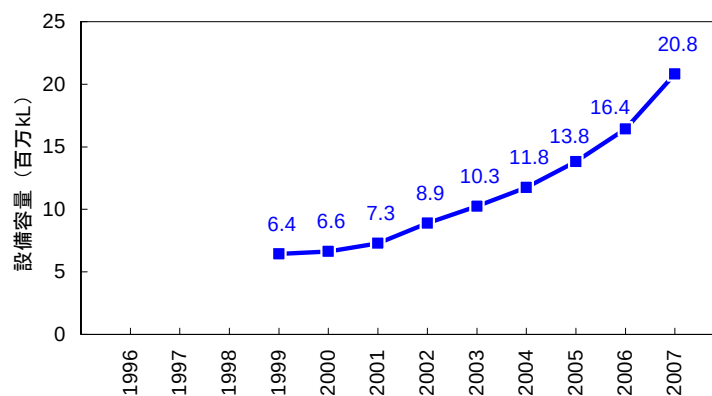


図 2.1.2 米国におけるバイオエタノールの生産設備容量

程度までその容量は拡大するものと見込まれている。すなわち、2007 年末に成立した新エネルギー法における RFS で掲げられたコーン由来エタノール等の 150 億ガロンは比較的近い将来達成され则认为られる。

一方、次世代燃料については、現在、酵素法を中心とした新技術（セルロース系エタノール発酵技術）の開発が進んでいる。しかしながら、コーン由来エタノールと比較すると生産コスト高になることは否めず、この開発の進展が米国における将来的なエタノール供給力を決めるといっても過言ではない。

これまでエタノールは原料栽培地域に近いところで生産されるため、その主力はコーンベルト地帯中心であった。ところが最近ではエタノール価格が高騰し、採算が取りやすくなったため、米国内全土にエタノール工場が建設されるようになっている（ただし、コーン価格やエネルギー価格の高騰に伴い、現在は採算が取れない事例も多いと類推される）。

セルロース系エタノール工場は 2007 年現在 1 ヶ所である。セルロース系エタノール発酵技術が開発された際の主力原料はコーンストーバー（とうもろこしの実以外の部分）と考えられており、その生産工場の立地も現在と大きく変わることはないと思われる。よって、導入義務量 210 億ガロンの達成については局地的な供給インフラストラクチャーや生産に消費する水を確保できるか否かも影響すると考えられる。

② BDF

米国における BDF の生産設備容量を図 2.1.3 に示す。生産設備容量は 2007 年には約 200 万キロリットルまで増大している。

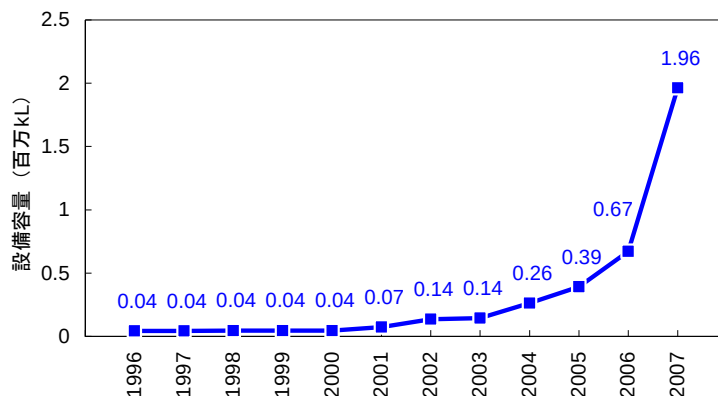


図 2.1.3 米国における BDF の生産設備容量

米国における BDF 原料の中心は大豆であったが、ごく近年ではマルチフィードストック型の工場が増えてきている。これまで米国ではコーンと大豆の連作により安定的な大豆供給が行われてきたが、コーンの需要の高まりに伴う価格高騰により、大豆栽培面積が大きく減少している。このような背景から、以前に比べ大豆の入手がやや困難になりつつあることもあり、マルチフィードストック型の工場が増えてきていると考えられる。

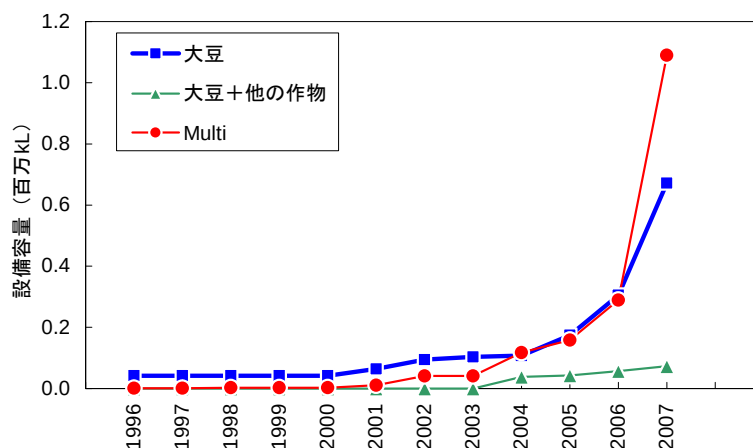


図 2.1.4 原料別 BDF の生産設備容量推移

2.1.2 ブラジル

(1) 政策動向

ブラジルでは、オイルショックの時期（1975～80年代）に国家アルコール政策としてプロアルコール政策を導入し、エタノール利用促進策を打ち出した。当初、混合率や価格を決定し導入促進を図ったが、オイルショック後の原油価格低迷を受け、エタノールの利用が落ち込んだ。その後、エタノール製造・販売に対する規制緩和を行い、現在の国の関与は「砂糖・エタノール各省連絡評議会」による無水エタノールのガソリンへの混合率決定のみとなっている。

ブラジルでは、レギュラーガソリンに 20～25 %のエタノールが混合されているほか、E100（含水アルコール 100 %）が販売されている。2003 年にはガソリンとエタノール等を任意の比率で混合した燃料が使用可能な自動車である FFV（flexible-fuel vehicle）が販売され、その利便性から新車の販売台数の半分以上を占めるようになってきている。一方で、以前はある程度の規模で流通していたアルコール専用車は現在ではほとんど販売されなくなっている。

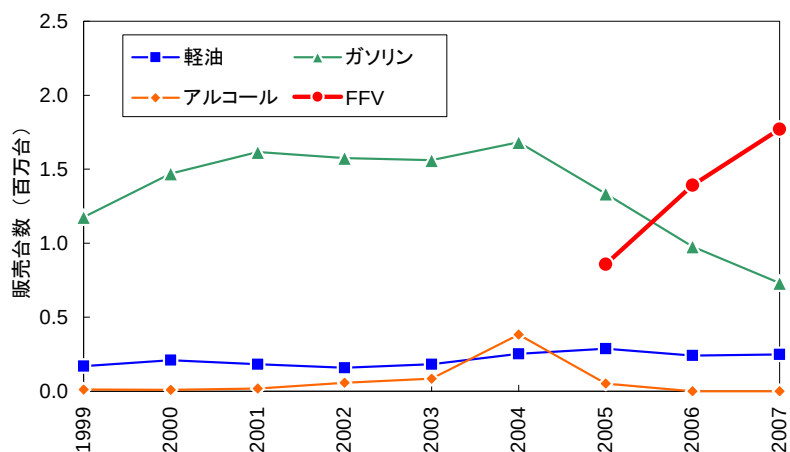


図 2.1.5 ブラジルにおける新車販売台数の推移

【出典】ブラジル自動車工業会資料をもとにみずほ情報総研が作成

（注）FFV 単独の販売台数表示は 2005 年から。2003 年及び 2004 年の数字には相当数の FFV が含まれている。

また、ブラジルは BDF 生産についても積極策を打ち出している。ブラジルは米国に次いで世界第 2 位の大豆生産量（約 6,000 万トン）を誇り、この 5 年あまりの間に生産量を約 1,000 万トンも増大させた。これは、米国が大豆生産からコーン生産へシフトし、その生産減分をブラジルのセラードを中心とした未耕作地域でカバーしたことによるものである。

ブラジルでは、農作物の輸送等に大型トラックが用いられており、この軽油の消費も大きい。このため、温暖化対策やエネルギーセキュリティの観点から、2007 年に 2 %までの混合を認めるようになり、その後 2008 年に義務化、2013 年に 5 %の義務化を目指した施策が進められている。

また、国営石油会社であるペトロブラスでは、BDF ではなく、水素や触媒を使って大豆油等の植物油から効率よくディーゼル油を生成する技術（H-BIO）の開発を進めており、将来的には BDF と H-BIO の両方の導入が進むと考えられる。

(2) 導入状況

① バイオエタノール

ブラジルは2004年までは世界最大のエタノール生産国であり、消費が大きいだけでなく世界各地への輸出も実施している。

原料は基本的にケーンジュース（砂糖の搾汁）である。最近の生産量は約1,600万キロリットル程度であり、主力生産地域はサンパウロを中心とした中南部地域である。

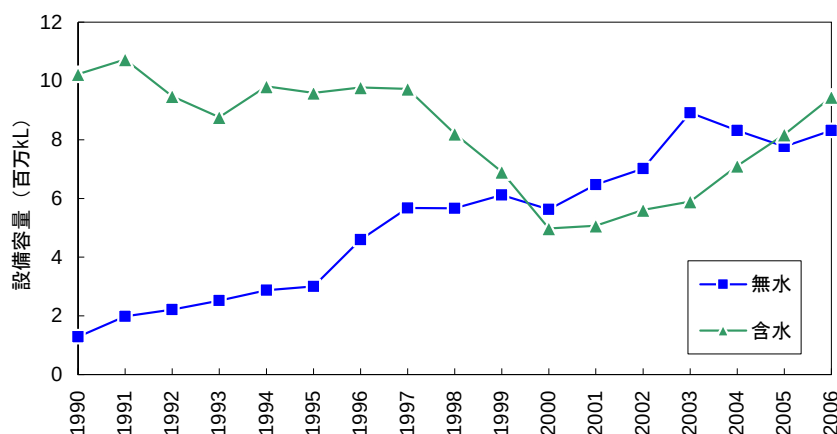


図 2.1.6 ブラジルにおけるエタノール生産量の推移

【出典】UNICA 資料をもとにみずほ情報総研が作成

② BDF

ブラジルにおけるBDFの原料は大豆である。ブラジルでは2005年からBDFの生産が開始されたばかりであり、生産量自体はエタノールと比較してもまだ少ない。しかし、2007年には40万m³を超える生産量となり、また、B2（バイオディーゼル2%混合）義務化による需要が約84万トンともいわれていることから、数年以内には100万トンを超える生産量になると予想される。

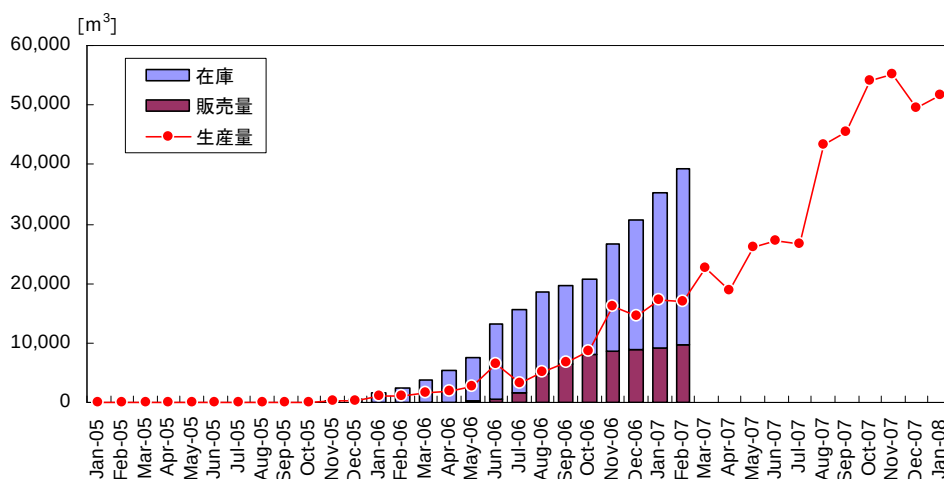


図 2.1.7 ブラジルにおけるBDF生産・販売・在庫の推移

【出典】生産量はブラジル石油監督庁（ANP）、在庫及び販売量はF.O.Licht（原典はANP）

2.1.3 欧州

(1) 政策動向

欧州では 2003 年 5 月に「輸送用バイオ燃料導入に係る指令（The EU Biofuels Directive on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport (2003/30/EC)）」が発効した。この指令は、加盟各国がバイオ燃料及びその他再生可能燃料の市場導入量について目安となる国家目標（National Indicative Target）を設定することが義務付けられ、2005 年末までにすべての輸送用燃料におけるバイオ燃料比率（エネルギー換算比率）を 2 %、2010 年末までに 5.75 %に引き上げることが目標とされている（目標を定めることは義務だが、5.75 %の達成は法的拘束力を持たない）。

しかしながら、2005 年における導入状況は、ドイツやスウェーデン等目標を超過した国がある反面、EU 全体では 1 %程度に過ぎず、その達成が危ぶまれている。そこで、法的拘束力を持った施策として、現在検討中の再生可能エネルギーロードマップ（Renewable Energy Roadmap）において 2020 年までに 10 %という目標が掲げられようとしている。

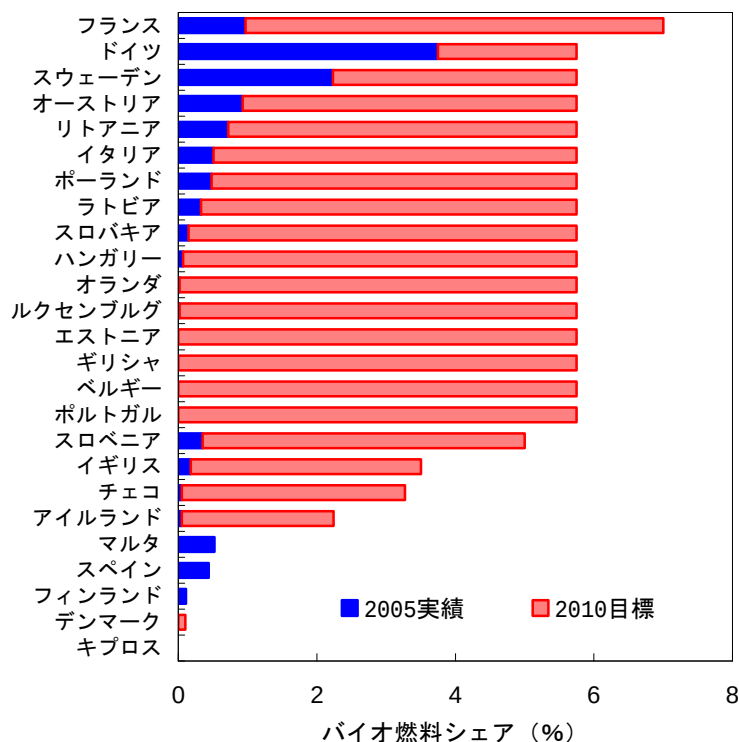


図 2.1.8 EU におけるバイオ燃料導入目標及び実績

【出典】EU 資料をもとにみずほ情報総研が作成

欧州では、EU 全体の施策以外にも特徴的な政策を掲げる国も多い。

ドイツでは、BDF 導入を進めるため、燃料税の免税を行ってきた。また、自国産並びに EU 内で生産された BDF の利用を積極的に推進し、導入拡大を図っている。その結果として、ドイツは世界最大の約 200 万トン以上の BDF を消費する国となっている。また、他国がインセンティブを続ける中、BDF に関するインセンティブは 2012 年で完全に終了という状況にまで達している。

表 2.1.1 ドイツにおける BDF 向け燃料税の推移

燃料税	2006～2007	2008	2009	2010	2011	2012
BDF (€/kL)	純 BDF : 90, BDF 混合 : 150	150	210	270	330	450
純植物油 (€/kL)	0	100	180	260	330	450

また、フランスでは、BDF 混合許容量の増大（5 → 7 %）を打ち出すだけでなく、エタノール 85 %混合ガソリン（E85）の積極導入拡大を図っている。特に E85 に関しては、2007 年に 500 ヶ所、2008 年には 1,500 ヶ所の E85 ガソリンスタンドを開設する計画を掲げており、また、自動車メーカーとも連携し FFV の投入を図っている。

イギリスでは、再生可能輸送燃料義務制度（Renewable Transport Fuels Obligation (RTFO)）として、燃料販売事業者に一定のバイオ燃料混合を義務付ける制度を実施している。この制度によると、2008～2009 年には自動車用燃料の販売量の 2.5 %（体積%）、2009～2010 年には 3.75 %、2010～2011 年には 5 %をバイオ燃料とすることを燃料販売事業者に対して義務付けることになっている。このように、EU では積極的な施策が推進されているものの、バイオ燃料の拡大が真に持続性を有するものかという点について別途議論がなされている。従って、ここに掲げた推進策がすべて順調に進められるとは言い難く、例えば、再生可能エネルギーロードマップに掲げられた 2020 年 10 %についても、各所で疑問視されているのが現状である。

(2) 導入状況

① バイオエタノール

EU におけるバイオエタノールの導入量は 0.9 Mtoe（約 180 万キロリットル（2006 年））となっており、そのうち 35 %がドイツにおける消費となっている。EU では、国ごとに様々な原料が利用されており、代表的なものとしては小麦等の穀物・ビートが挙げられるが、スウェーデンのようにブラジルからの輸入が中心となっている国もある。

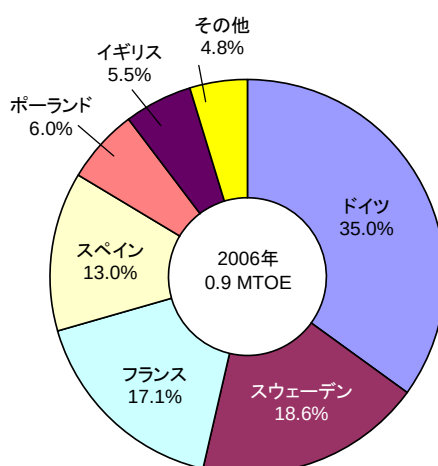


図 2.1.9 EU におけるバイオエタノール導入実績

【出典】EU 資料をもとにみずほ情報総研が作成

② BDF

EU における BDF の導入量は 3.8 Mtoe（約 400 万キロリットル（2006 年））となっており、そのうち 65 %がドイツにおける消費となっている。EU における BDF 原料の中心は菜種・ひまわり等である。

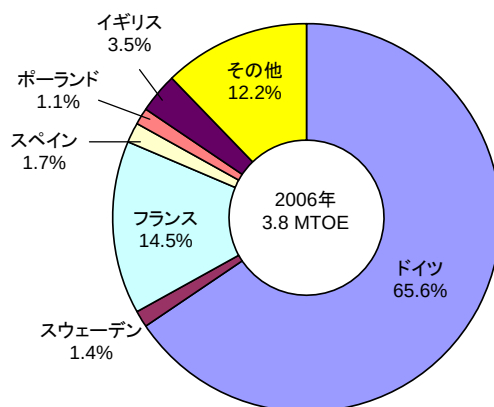


図 2.1.10 EU における BDF 導入実績

【出典】EU 資料をもとにみずほ情報総研が作成

2.1.4 東南アジア（タイ）

（1）政策動向

タイは東南アジアでもバイオ燃料の積極導入が進む国の一つである。2000 年代前半には、タイ国営石油会社（PTT）やバンチャック石油等によりエタノール 10 %混合ガソリンの試験販売を開始した。その後、支援策を制定した後、バンコク市内及び近郊のガソリンスタンド約 200 ヶ所でエタノール 10 %混合ガソリン（ガソホール 95。プレミアムガソリンへのバイオエタノール混合）の販売を開始し、2011 年までにすべてのガソリンをエタノール 10 %混合ガソリン化する目標を設定している。

ガソリンとガソホール（E10）は 1 リットルあたり 3 タイバーツの価格差（インセンティブ）があるため、ガソホールの販売量が増加している。

また、BDF に関しても導入が開始され、B2 のタイ全土への導入開始と将来的な B5、B10 の全国普及が推進されている。

（2）導入状況

タイにおけるバイオエタノール生産原料の中心は廃糖蜜である。これは、タイにとって砂糖が重要な輸出商品であること、以前から廃糖蜜からアルコールを生産していたことによる。タイのエネルギー省によると、現在、日産 1,000 キロリットル程度のバイオエタノールの設備容量があり、2008 年末には日産 2,000 キロリットル程度にまで拡大することが見込まれている。

一方、BDF に関しては、2007 年度は日産 200 キロリットル程度の生産量であったが、2008 年中に日産 1,200 キロリットル程度まで拡大すると見込まれている。しかしながら、タイでは十分な油糧作物栽培が実施されておらず、現時点ではマレーシアやインドネシアからパームを輸入して BDF を製造している。現在、パーム栽培の拡大も図られているが、将来的な耕地（生産量）確保がタイにおける BDF 導入量に影響するものと考えられる。

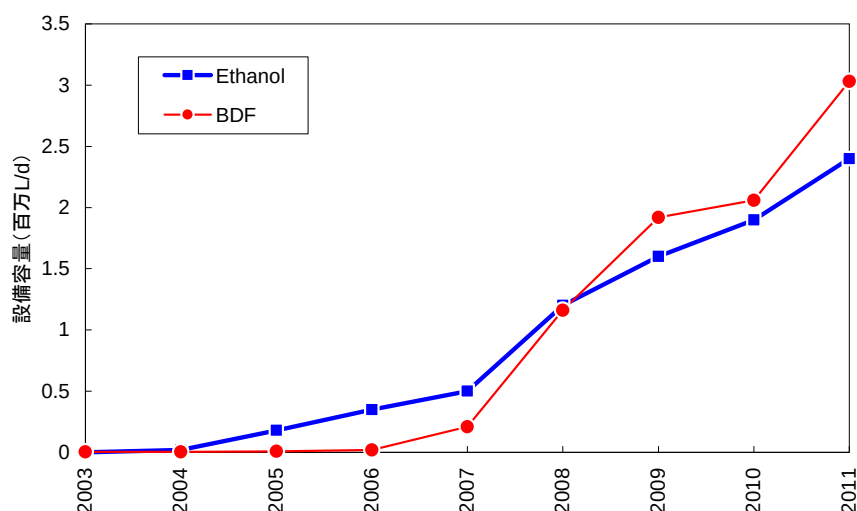


図 2.1.11 タイにおけるバイオエタノール及び BDF の生産量とその見通し

2.1.5 東南アジア（マレーシア）

（1）政策動向

マレーシアはインドネシアと並び世界最大のパーム生産国であり、早くから輸出戦略品目としてパーム油を活用してきた。同国では 2006 年にバイオ燃料の国家戦略を策定し、現在導入されている B2 燃料の BDF 混合率を 5 %まで拡大することを計画している。

また、非持続的なパーム生産や需給バランスの悪化を懸念し、インドネシアと提携し、向こう 10 年において 600 万トンの粗パーム油 (CPO) 生産を実施することを示している。しかしながら、最近の CPO の国際価格の高騰により、BDF 製造の採算が大きく悪化していることから、当初の予定通り BDF が生産されないことが懸念されている。

（2）導入状況

現在では、4 ヶ所年産 30 万トンの BDF 製造工場が設置されているが、計画・実証中の工場での生産が開始されると、更に 60 万トンの生産が行われることになる。現在、全国で約 90 のライセンスが与えられており、これらすべてが稼働を開始すると年産約 1,000 万トン程度の生産規模となる。

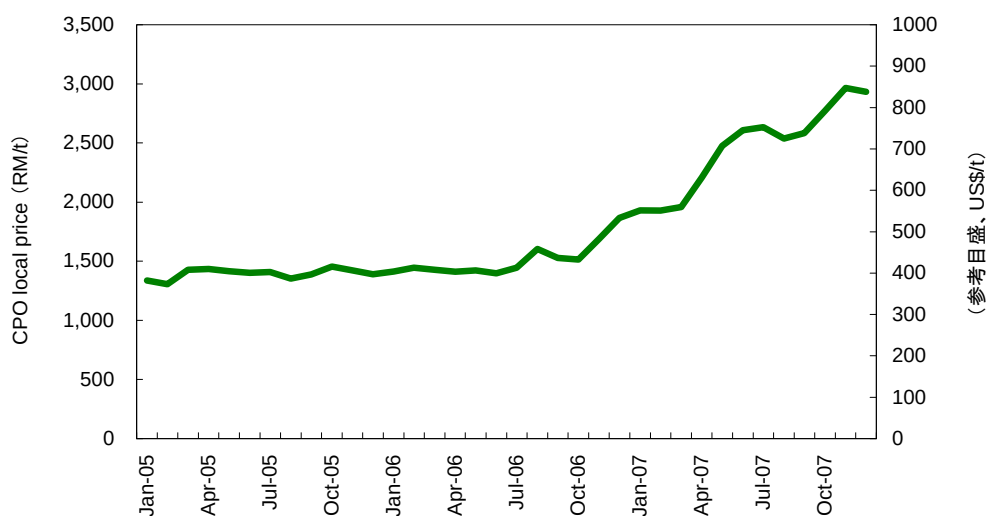


図 2.1.12 マレーシアにおける CPO 価格の推移

【出典】 Malaysian Palm Oil Board (MPOB)

2.1.6 東南アジア（インドネシア）

（1）政策動向

インドネシアは 2007 年に 1,700 万トンの CPO を生産し、世界最大の CPO 生産国となった。また、化石燃料消費抑制や雇用創出を目指してバイオ燃料プログラムを掲げている。バイオ燃料の導入に向け、B5 の導入及び 2010 年には混合率 10 %への拡大が検討されている。

（2）導入状況

F. O. Licht 社資料によると、現時点では 10 万トン程度の生産量と報告されているが、正式な値は不明である。2008 年末までに計画が予定通り進行すれば年間約 300 万トン程度の生産規模になる予定である。

2.1.7 日本

(1) 政策動向

我が国では 2006 年 3 月のバイオマス・ニッポン総合戦略の改訂以降、バイオ燃料の導入に向けた動きが大きく加速した。その後、2007 年 2 月にはバイオ燃料の大幅導入拡大として、将来的に 600 万キロリットルの国産バイオ燃料生産を意識した各種施策についての整理が実施されている。

我が国では 2003 年における「揮発油の品質の確保等に関する法律」（品確法）の改正に伴い、ガソリンへのバイオ燃料の混合（エタノール 3 %混合）が認められるようになり、また、2006 年には軽油にバイオディーゼルを混合させて販売する際の規格が定められている。

バイオエタノールの混合に関しては、直接混合は過剰な水の混入によるエタノール/水の分離、部材への悪影響等を懸念して石油業界を中心に反発が多い。その対応策として、石油業界はエタノール 3 %に相当するエチルターシャリーブチルエーテル（ETBE）を製造し、それをガソリンに混入することでバイオ燃料とする動きとなっている。なお、石油業界では、原油換算 50 万キロリットル相当の ETBE の導入を目指し、バイオガソリンと称する ETBE 混合ガソリンの販売を実施している。

しかし、エタノール生産事業者は比較的簡易にバイオ燃料の混合が可能なことから直接混合を望むことが多い。その結果、我が国は ETBE と直接混合の二重標準（ダブルスタンダード）で導入が進み始めている。

(2) 導入状況

① バイオエタノール

現時点では、バイオエタノールの製造を商業規模で実施しているのは大阪府堺市のバイオエタノール・ジャパン・関西株式会社のみであり、その規模は年産 1,400 キロリットルとなっている。

我が国において現時点で使用されているバイオマス資源は建設廃木材のみであるが、農林水産省の事業により、北海道で 3 万キロリットル、新潟で 1,000 キロリットルの生産計画があり、これらは穀物や糖質作物等が原料となる予定である。

② BDF

BDF に関しては、1 バッチ 100～200 リットル程度の小型プラントから、年産 1,500 キロリットル以上のプラントまであり、合計で年間約 5,000 キロリットル以上生産されているものと考えられる。

2.2 評価対象とする燃料製造（Well-to-Tank）パス

2.1 で整理した内容をもとに、本報告で検討の対象とするバイオ燃料製造パスを次の通り選定した。

表 2.2.1 検討の対象としたバイオ燃料製造パス

燃料種類	原料	生産(栽培)場所	エネルギー転換の場所	バイオ燃料の利用場所	備考
バイオエタノール	コーン	米国	米国	米国	
	セルロース系バイオマス ^(*)	米国	米国	米国	
	サトウキビ	ブラジル	ブラジル	ブラジル or 日本	
	小麦	欧州	欧州	欧州 or 日本	ETBE としての利用も想定
	テンサイ	欧州	欧州	欧州 or 日本	
	サトウキビ	東南アジア	東南アジア	東南アジア or 日本	
	コメ	日本	日本	日本	ETBE としての利用も想定
	間伐材	日本	日本	日本	
BDF	大豆	米国	米国	米国	
	大豆	ブラジル	ブラジル	ブラジル	
	菜種	欧州	欧州	欧州	
	アブラヤシ(パーム油)	東南アジア	東南アジア	東南アジア	

(*) コーンストーバー、スイッチグラス等

また、特にバイオエタノールについて、今後各国で量産された場合や、日本での導入量が増えた場合等、新たに想定されるパスについてはいくつかのケーススタディを行った。

2.3 環境負荷項目

本報告では前回報告同様、環境負荷項目として次の内容に関わる項目を対象とした。

[エネルギー消費量]

➤ エネルギー消費量（低位発熱量ベース）[MJ]

[大気圏への排出物]

➤ 温室効果ガス：CH₄, CO₂, N₂O [kg]

※ ただし、本研究では化石燃料の燃焼に伴う CH₄ 及び N₂O の排出はゼロとした
（燃焼に伴う環境負荷の排出は CO₂ のみ考慮）

また、温室効果ガスについては、IPCC [2001] を参照し、一般に地球温暖化への影響度を示す係数として多く使用されている地球温暖化ポテンシャル（GWP）の 100 年値を特性化係数に採用した。100 年値を採用した理由については、

- ① CO₂ の大気中残存年数（寿命）が 120 年である
- ② 地球温暖化の影響度を調査する際にしばしば 100 年間の影響を議論することが多い

ことが挙げられる。

CO₂ 以外の物質（CH₄, N₂O）については、この GWP 100 年値に従い CO₂ 相当量への換算により評価を実施した。

$[\text{GWP 指標結果 kg eq-CO}_2] = [\text{温暖化物質排出量 kg}] \times [\text{GWP 100 年値 kg eq-CO}_2 / \text{kg}]$

本研究で使用した GWP の 100 年値を表 2.3.1 に示す（IPCC [2001]）。

表 2.3.1 地球温暖化に対する特性化係数（単位：kg eq-CO₂/kg）

温暖化物質名	GWP
メタン（CH ₄ ）	23
二酸化炭素（CO ₂ ）	1
亜酸化窒素（N ₂ O）	296

2.4 算出方法

算出方法についても前回報告同様、各燃料が生産され、自動車に供給されるまでのライフサイクルに含まれるプロセスごとにデータを調べる「積み上げ法」を採用した。

プロセスごとのエネルギー消費量及びCO₂排出量を算出する際に使用する化石燃料の燃焼及び電力の使用に関するデータは、特に断りがない限り、前回報告で用いたものを一貫して使用した。

〔負荷配分の取り扱いについて〕

バイオマス生産においては、主要な燃料製造原料の生産のほかに、葉や茎等の副産物も生産されたり、また、エネルギー転換においては、主生成物のほかに様々な副生成物が生み出されたりする場合がある。各プロセスで投入されるエネルギーはこれら副産物や副生成物の発生にも寄与していると考えられるが、これらの負荷配分の考え方や方法によって値は大きく変化する。

従って、本報告では、基準ケースとして、副産物や副生成物に対する負荷配分は一切行わず、主生成物がエネルギー消費に伴い発生する環境負荷のすべてを負うものとした。

〔土壌から放出される N₂O について〕

土壌から放出される N₂O については、参照した文献内に報告があるものを除き、環境省 [2002] に記載されている直接排出 [合成肥料] の排出係数 (15.6 [kg-N₂O/t-N]) を用いて算出した。これは、日本全国で実施した畑地からの N₂O のフラックス調査に基づき、作物種を考慮して推計した値である。具体的には、プランテーションにおいて投入される窒素の量にこの排出係数を乗ずることによって、プランテーションプロセスからの N₂O 排出量を算出した。

3. Well-to-Tank に関するデータの収集手順及び算出方法（基準ケース）

3.1 バイオエタノール

3.1.1 米国

(1) コーンからのエタノール製造

① 前提条件

本報告で対象とした米国でのコーンからのエタノール製造パスのフロー図を図 3.1.1 に示す：

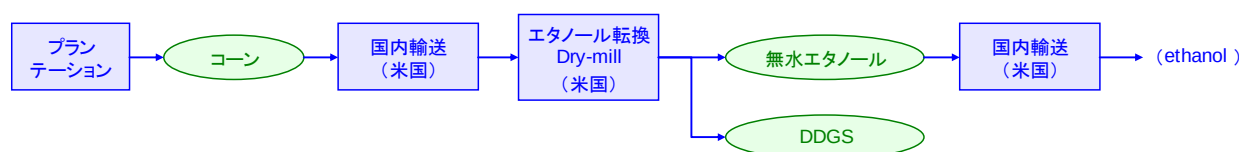


図 3.1.1 コーンからのエタノール製造パスのフロー図

米国におけるコーンのプランテーション（生産）は、アイオワ州、イリノイ州、ミネソタ州、ネブラスカ州をはじめとするコーンベルトを中心に行われている。生産されたコーンはトラックで近隣のターミナルに一旦収集され、そこからエタノール転換工場へ輸送される。本報告では、エタノール転換工場は米国で最も普及しているドライミル方式を想定した。エタノール転換工場では、前処理、発酵、蒸留及び脱水プロセスを経て、無水エタノールが製造される。

生産されたコーンのエタノール転換工場までの輸送距離について、生産に必要な原料を収穫するための面積（U.S. Department of Agriculture [2007]）や Pimentel, D. *et al.* [2005] におけるコーンの輸送距離に関する記述（往復 144 km）を参考に、本報告では 90 miles（＝約 145 km）とした。

ドライミル方式では副産物として DDGS（Distiller's Dried Grains with Solubles）が発生する。DDGS には澱粉以外の蛋白質や脂肪等の栄養成分が多量に残っているため、古くから配合飼料原料として用いられているが、ここではエタノール製造が主目的であるため、DDGS への負荷配分を行わず、本パスに由来するすべての環境負荷はエタノールが担うものとした。

② 本報告における算出

【コーンのプランテーション】

コーンのプランテーションについてはいくつかの先行研究が報告されている（Graboski, M.S. [2002]、Patzek, T.W. [2004]、Shapouri, H. *et al.* [2004]、Pimentel, D. *et al.* [2005] 等）。これらと比較し、エネルギー消費量が最大となるケース（Pimentel, D. *et al.* [2005]）と最小となるケース（Shapouri, H. *et al.* [2004]）に記載されたデータをもとにエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量を算出した。その結果を表 3.1.1 に示す。

表 3.1.1 コーンのプランテーションにおけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

	データ名	単位	(最大*)	(最小*)
主製品	コーン(含水率 15 %)	kg	1.0	1.0
エネルギー消費量 (肥料等は製造時の エネルギー消費量)	N 系肥料	MJ	0.97	0.94
	P ₂ O ₅ 系肥料	MJ	0.09	0.09
	K ₂ O 系肥料	MJ	0.06	0.07
	CaO 系肥料	MJ	0.60	0.01
	除草剤(化学品)	MJ	0.28	0.13
	殺虫剤	MJ	0.11	—
	ガソリン	MJ	0.15	0.12
	軽油	MJ	0.36	0.26
	LPG	MJ	—	0.09
	電力①化石燃料由来	MJ	0.01	0.08
	電力②その他	MJ	0.01	0.03
	生産に必要な資材や労働者の農場までの輸送	MJ	0.08	—
	合計	MJ	2.72	1.82
温室効果ガス排出量	CO ₂	kg	0.19	0.11
	N ₂ O	kg	2.76E-4	2.67E-4
	合計 (CO ₂ 相当量)	kg	0.27	0.19

*) 化石燃料由来の温室効果ガス排出量が最大または最小ケースの意味

参考までに前回報告との比較を図 3.1.2 に示す。

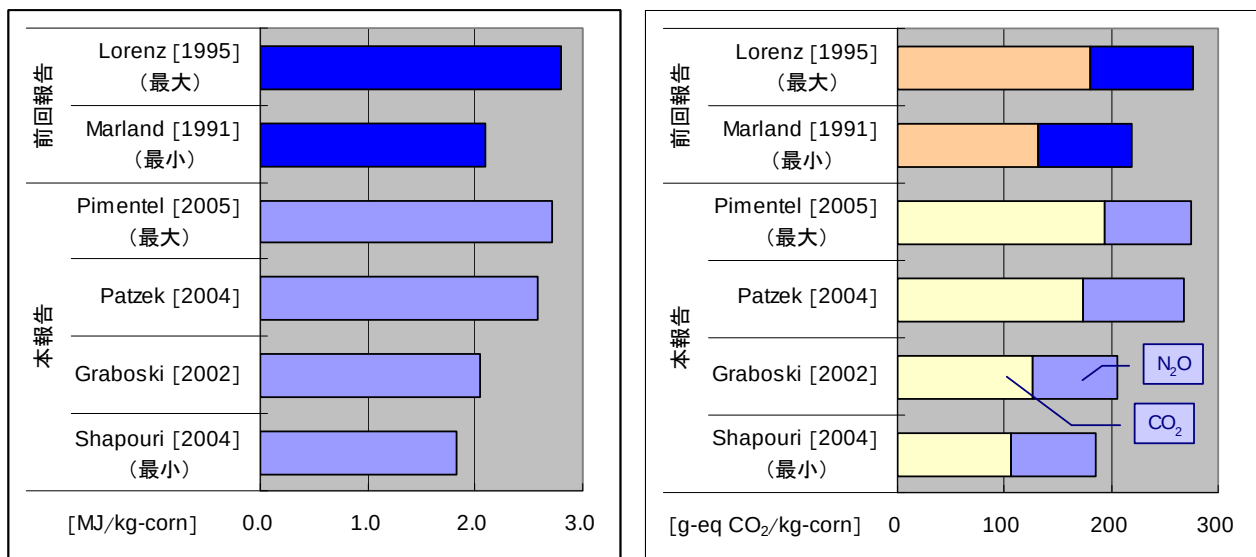


図 3.1.2 コーンのプランテーションに関する本報告と前回報告の比較
(左：エネルギー消費量、右：温室効果ガス排出量)

【コーンの国内輸送】

コーンのエタノール転換工場までの輸送に関する各種設定（輸送形態、積載量、燃費等）については、GREET 1.8a [2007] の設定に従った。また、輸送距離は前述の通り 90 miles とした。

【コーンのエタノール転換】

コーンのエタノール転換についてもプランテーション同様、いくつかの先行研究が報告されている（Graboski, M.S. [2002]、Patzek, T.W. [2004]、Shapouri, H. *et al.* [2004]、Pimentel, D. *et al.* [2005]、U.S. Environmental Protection Agency [2006] 等）。

コーンのエタノール転換技術は、ここ数年で技術開発が強力に進められてきた結果、エネルギー消費量が大きく減少した。従来、でんぷんの糖化プロセスでは 100 °C 程度まで加温する必要があったが、糖化酵素の開発によってこれらのプロセスが不要となったことからエネルギー消費が削減している。また、エタノールの収率の面では、数年前までは 2.6~2.7 gallon/bu であったのが、現在では 2.8 gallon/bu まで向上している。更にコーンからのエタノール転換において大きなエネルギー消費プロセスの一つとなっているエタノール分離プロセスにおいて、これまで一般的であった PSA 法と比較して一段とエネルギー消費を削減できる膜分離技術が普及しつつあることも影響していると考えられる。

本報告では、前述の先行研究のうち、化石燃料由来の温室効果ガス排出量が最も大きい Pimentel, D. *et al.* [2005] と、最も小さい（技術開発効果を考慮していると考えられる）U.S. Environmental Protection Agency [2006] に記載されたデータをもとにエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量を算出した。その結果を表 3.1.2 に示す。

表 3.1.2 コーンのエタノール転換におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

	データ名	単位	(最大*)	(最小*)
主製品	エタノール	kg	1.0	1.0
副産物	DDGS	kg	1.12	0.96
	うち、たんばく質	kg	0.30	0.23
	脂肪	kg	—	0.09
エネルギー消費量	熱エネルギー (LHV)	MJ	—	10.2
	蒸気	MJ	13.4	—
	電力①化石燃料由来	MJ	4.1	2.1
	電力②その他	MJ	1.6	0.8
	脱水用エネルギー	MJ	0.1	—
	合計	MJ	19.2	13.1
温室効果ガス排出量	CO ₂	kg	1.11	0.76

*) 化石燃料由来の温室効果ガス排出量が最大または最小ケースの意味

参考までに前回報告との比較を図 3.1.3 に示す。

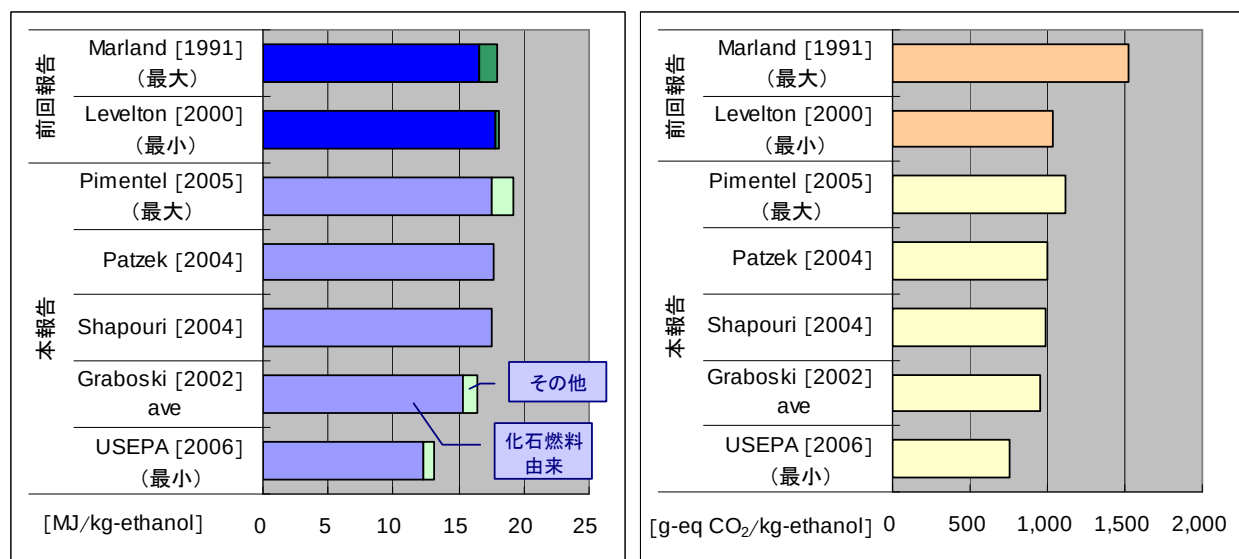


図 3.1.3 コーンのエタノール転換に関する本報告と前回報告の比較
(左：エネルギー消費量、右：温室効果ガス排出量)

【エタノールの国内輸送】

エタノールの米国内における輸送に関する各種設定は GREET 1.8a [2007] の設定に従った。米国内における輸送手段としてはトラック、船、鉄道が用いられている。

③ 算出結果

米国でのコーンからのエタノール製造パスについて、エタノール 1 MJ 製造時におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の算出結果を、表 3.1.3 (A) 最大ケース、(B) 最小ケース) に示す。

表 3.1.3 (A) 米国でのコーンからのエタノール 1 MJ 製造時における
エネルギー消費量及び温室効果ガス排出量
(最大ケース)

		資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計
エネルギー消費量 [MJ/MJ-EtOH]	化石燃料由来	0.34	0.02	0.66	0.05	1.07
	バイオマス由来	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	その他	0.00	0.00	0.06	0.00	0.06
	合計	0.34	0.02	0.72	0.05	1.13
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-EtOH]	CO ₂	化石燃料由来	24.50	1.52	41.59	71.08
		バイオマス由来	0.00	0.00	0.00	0.00
	CH ₄	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N ₂ O	10.32	0.00	0.00	0.00	10.32
	合計	34.81	1.52	41.59	3.48	81.40

表 3.1.3 (B) 米国でのコーンからのエタノール 1 MJ 製造時における
エネルギー消費量及び温室効果ガス排出量
(最小ケース)

		資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計
エネルギー消費量 [MJ/MJ-EtOH]	化石燃料由来	0.20	0.02	0.46	0.05	0.72
	バイオマス由来	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	その他	0.00	0.00	0.03	0.00	0.03
	合計	0.21	0.02	0.49	0.05	0.76
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-EtOH]	CO ₂	化石燃料由来	12.02	1.35	28.22	45.07
		バイオマス由来	0.00	0.00	0.00	0.00
	CH ₄	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N ₂ O	8.90	0.00	0.00	0.00	8.90
	合計	20.92	1.35	28.22	3.48	53.97

(2) セルロース系バイオマスからのエタノール製造

① 前提条件

本報告で対象とした米国でのセルロース系バイオマスからのエタノール製造パスのフロー図を図 3.1.4 に示す：

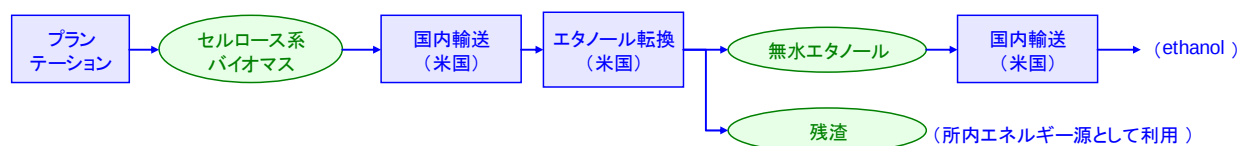


図 3.1.4 セルロース系バイオマスからのエタノール製造パスのフロー図

セルロース系バイオマスとして、米国ではコーンストーバーやスイッチグラス等が考えられる。スイッチグラスは北アメリカ、中央アメリカ、南アメリカやアフリカに分布し、ほとんどの地域で自生している草本系バイオマスであり、米国においてエネルギー作物として期待されているバイオマスの一つである。2007 年現在、エネルギー作物として一般的に生産されているわけではないが、商業規模での生産コスト試算を目的としてノースダコタ州北部からネブラスカ州南部で生産実験が実施されているところである。

セルロース系バイオマスからのエタノール製造については、現在のところ、セルロースの糖化プロセスを中心に研究開発が実施されている段階である。セルロースの前処理・糖化方法としては、希硫酸法、濃硫酸法、酵素法、水蒸気爆砕法等の各種要素技術の他、これらの組み合わせによるプロセス等、複数の方法が提案、開発されている。現在、硫酸を用いる方法が技術的に先行しているが、エネルギー効率や初期コスト等を考慮すると、酵素を用いる方法に関する技術開発への期待が大きい。これら技術は世界的に開発段階にあり、各種想定に基づく分析に留まっているのが現状である（表 3.1.4 参照）。

表 3.1.4 各国のセルロース系バイオマスからのエタノール製造技術開発状況

開発対象	日本	米国/カナダ	欧州
主な対象バイオマス	建設廃材、稲わら、等	コーンストーバー、 スイッチグラス、等	麦わら、等
前処理＋糖化技術	建設廃材を対象とした希硫酸法が商業化。酵素糖化部分を開発中。 ソフトセルロース向けの技術開発は水熱処理技術等の研究開発が実施されている。	希硫酸＋酵素糖化法の技術開発が進められ、DOE 主導による酵素開発は最も進んでいるといわれている。ハンマーミル、水蒸気爆砕による前処理を組み合わせた酵素糖化法は商業化フェーズ。	爆砕、水熱処理、粉碎処理に関する研究が行われている。リグニン化学、糖質化学など木材成分化学の基礎研究がトップレベルであるが、バイオマス糖化前処理と植物細胞壁構造に注目した研究が米国に先行されている。
エタノール発酵	C ₅ 、C ₆ 糖の並行発酵の酵母、細菌育種が行われている	C ₅ 、C ₆ 糖の並行発酵の酵母、細菌育種が行われている。	キシロース、アラビノース発酵能を付与した酵母の育種が行われている。
主な技術開発目標	糖回収率 90%、発酵効率 90%（産総研） 糖回収率 90 %、発酵効率 87%（NEDO）	90 gallon/t-feedstock dry（DOE）	エタノール回収率：90～95 %（EU）

② 本報告における算出

【セルロース系バイオマスのプランテーション】

ここでは、セルロース系バイオマスのプランテーションとして、実の生産を考慮する必要のないバイオマスの生産を想定した。

セルロース系バイオマスの商業生産については本格的に実施されておらず、定常的な大規模生産に関するデータは現時点では見つけられていないが、スイッチグラスについては、その単収や肥料投入量等に関する研究がいくつか報告されている。

例えば、R.E.A.P.の研究報告では、カナダでのスイッチグラス生産の商業生産に関するデータが示されている。品種によって単収は異なるが、いずれの品種も 10 トン-dry/ha 前後で、施肥量は窒素肥料を 50～60 kg/ha としている。一方、Perrin, R.K. *et al.* [2008] では、10 ヶ所においてそれぞれ 5 年間の栽培を実施した結果、平均単収が 5 トン-dry/ha で、更にこのデータを 10 年間に外挿した場合は 7 トン-dry/ha としている。ここでの施肥量は、場所や年によって様々であるが、窒素肥料として 0～212 kg/ha（平均 75kg/ha）である。また、Pimentel, D. *et al.* [2005] ではスイッチグラス生産のエネルギー投入量について分析しており、ここでは単収を 10 トン-dry/ha、窒素肥料投入量を 50 kg/ha としている。このように、先行研究で報告されている単収や肥料投入量等は、品種や栽培地によって異なっている。

これらの情報をもとに、本報告では単収 10 トン-dry/ha、窒素肥料投入量 50 kg/ha とした。また、農作業に必要と思われる軽油や除草剤についても考慮した。

セルロース系バイオマスのプランテーションにおけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の算出結果を表 3.1.5 に示す。

表 3.1.5 セルロース系バイオマスのプランテーションにおける
エネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

	データ名	単位	量
主製品	セルロース系バイオマス(スイッチグラス)	kg	1.0
エネルギー消費量 (肥料等は製造時の エネルギー消費量)	N 系肥料	MJ	0.27
	除草剤(化学品)	MJ	0.12
	軽油	MJ	0.36
	合計	MJ	0.75
温室効果ガス排出量	CO ₂	kg	0.05
	N ₂ O	kg	2.35E-4
	合計 (CO ₂ 相当量)	kg	0.12

参考までに前回報告との比較を図 3.1.5 に示す。

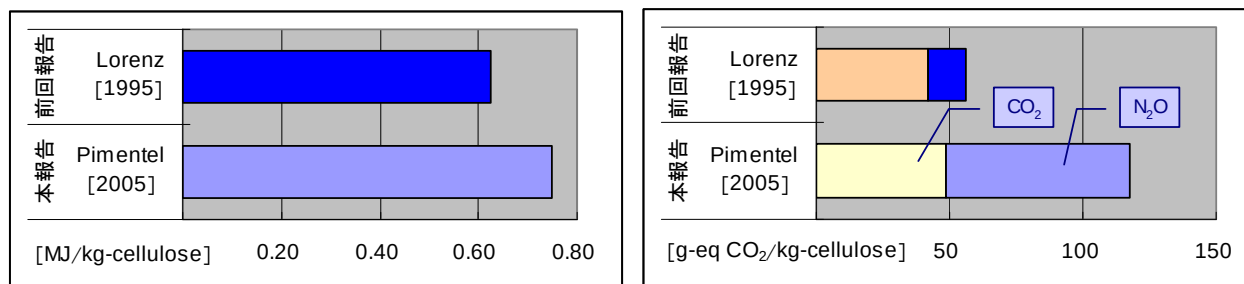


図 3.1.5 セルロース系バイオマスのプランテーションに関する本報告と前回報告の比較
(左：エネルギー消費量、右：温室効果ガス排出量)

【セルロース系バイオマスの国内輸送】

コーンの国内輸送同様、輸送距離は 90 miles とした。

【セルロース系バイオマスのエタノール転換】

木質系バイオマス（この中でも樹種の違いがある）と草本系バイオマスとでは性状が異なるため、同条件では転換効率も異なると考えられる。よって、本報告では、主力原料としてコーンストーバーやスイッチグラス等に比較的性状の近い草本系バイオマスに関して報告されている先行研究を主に参考にした。

濃硫酸法に関する先行研究としては、Kadam, A. *et al.* [1999]、新エネルギー・産業技術総合開発機構 [2006] や、Arkenol 社の技術 (<http://www.bluefireethanol.com/technology/>) 等が挙げられる。Kadam, A. *et al.* [1999] は木質系バイオマスと稲わらを対象に、Arkenol 社の技術ではこれらも含むセルロース系バイオマスを対象としたデータが記載されている。一方、新エネルギー・産業技術総合開発機構 [2006] では木質系バイオマスを対象とした研究であるため、ここでは Kadam, A.

et al. [1999] における稲わらと Arkenol 社の技術に注目した。ここで、Arkenol 社の技術では、リグニン残渣を利用しないエネルギー消費量が示されているため、蒸気分のエネルギーをリグニン残渣が賄うものとした。

希硫酸＋酵素法については、Kadam, A. et al. [1999] では稲わらを原料とした場合、Aden, A. et al. [2002] ではコーンストーバーを原料とした場合の研究が報告されている。また、水蒸気爆砕＋酵素法については、EUCAR [2007] においてバイオテクノロジー企業 IOGEN 社のデータとして小麦わらを原料とした場合の研究が報告されている。

本報告では、前述の先行研究の内容を比較・検討した結果、比較的新しい報告である Arkenol 社の技術と EUCAR [2007] を取り上げることにした。

セルロース系バイオマスのエタノール転換におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の算出結果を表 3.1.6 に示す。

表 3.1.6 セルロース系バイオマスのエタノール転換におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

	データ名	単位	(最大*)	(最小*)
主製品	エタノール	kg	1.0	1.0
エネルギー消費量	電力①化石燃料由来	MJ	7.9	—
	電力②その他	MJ	3.1	—
	バイオマス由来エネルギー	MJ	42.9	48.2
	合計	MJ	53.9	48.2
温室効果ガス排出量	CO ₂ 排出量(化石燃料由来)	kg	0.67	—
	CO ₂ 排出量(バイオマス由来)	kg	4.93	4.50
	合計	kg	5.60	4.50

*) 化石燃料由来の温室効果ガス排出量が最大または最小ケースの意味

参考までに前回報告との比較を図 3.1.6 に示す。ここで、前回報告においてはバイオマス由来の CO₂ 排出量は評価していないため、本報告とは単純比較できないことに注意が必要である。

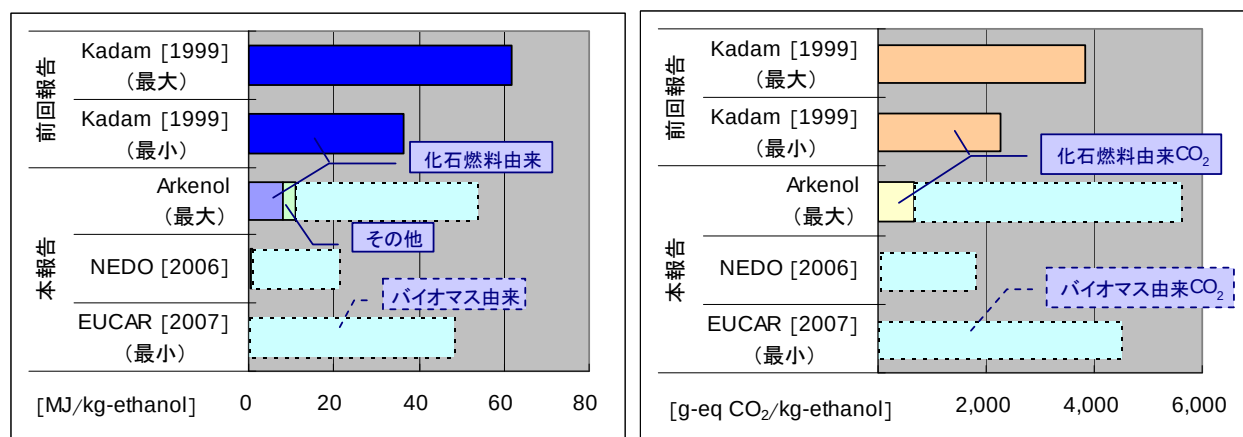


図 3.1.6 セルロース系バイオマスのエタノール転換に関する本報告と前回報告の比較
(左：エネルギー消費量、右：温室効果ガス排出量)

【エタノールの国内輸送】

セルロース系バイオマスから製造したエタノールの米国内における輸送に関する各種設定は、コーンと同様、GREET 1.8a [2007] の設定に従った。米国内における輸送手段としてはトラック、船、鉄道が用いられている。

③ 算出結果

米国でのセルロース系バイオマスからのエタノール製造パスについて、エタノール 1 MJ 製造時におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の算出結果を、表 3.1.7 ((A) 最大ケース、(B) 最小ケース) に示す。

表 3.1.7 (A) 米国でのセルロース系バイオマスからのエタノール 1 MJ 製造時における
エネルギー消費量及び温室効果ガス排出量
(最大ケース)

		資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計
エネルギー消費量 [MJ/MJ-EtOH]	化石燃料由来	0.12	0.03	0.29	0.05	0.49
	バイオマス由来	0.00	0.00	1.60	0.00	1.60
	その他	0.00	0.00	0.12	0.00	0.12
	合計	0.12	0.03	2.01	0.05	2.21
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-EtOH]	CO ₂	化石燃料由来	8.08	2.01	25.14	38.70
		バイオマス由来	0.00	0.00	183.70	183.70
	CH ₄	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N ₂ O	11.62	0.00	0.00	0.00	11.62
	合計	19.69	2.01	208.84	3.48	234.02

表 3.1.7 (B) 米国でのセルロース系バイオマスからのエタノール 1 MJ 製造時における
エネルギー消費量及び温室効果ガス排出量
(最小ケース)

		資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計
エネルギー消費量 [MJ/MJ-EtOH]	化石燃料由来	0.12	0.03	0.00	0.05	0.20
	バイオマス由来	0.00	0.00	1.80	0.00	1.80
	その他	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合計	0.12	0.03	1.80	0.05	2.00
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-EtOH]	CO ₂	化石燃料由来	8.08	2.01	0.00	13.56
		バイオマス由来	0.00	0.00	167.81	167.81
	CH ₄	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N ₂ O	11.62	0.00	0.00	0.00	11.62
	合計	19.69	2.01	167.81	3.48	192.99

3.1.2 ブラジル

ブラジルについては、サトウキビからのエタノール製造パスのみを対象とした。

① 前提条件

本報告で対象としたブラジルでのサトウキビからのエタノール製造パスのフロー図を図 3.1.7 に示す：

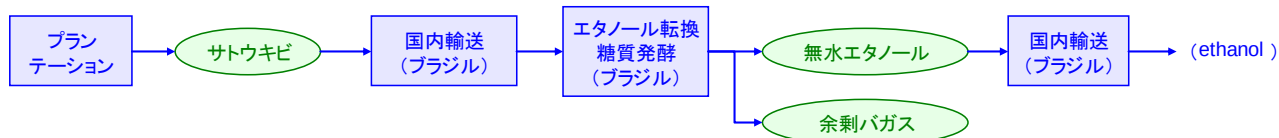


図 3.1.7 ブラジルでのサトウキビからのエタノール製造パスのフロー図

ブラジルでは、サトウキビを原料に砂糖とエタノールが生産されている。サンパウロ州を中心としたブラジル南部では 4 月から 11 月が収穫期であり、アラゴアス州等のブラジル北東部では 9 月から 3 月が収穫期であるため、年間を通じて国内でのエタノール生産が可能となっている。

サトウキビ生産は、USINA（ウッジーナ）と呼ばれる工場自身が行っている場合と、契約している生産者が生産・供給をしている場合がある。USINA は、砂糖とエタノールの両方を生産できるものが多いが、本報告ではエタノールのみ生産する工場を想定した。

サトウキビは、新植してから 5～6 回程度収穫を行い、その後はまた新植する。収穫や植え付け作業は一部で機械化されているものの、大部分が手作業である。収穫されたサトウキビはトラックで USINA へ搬送され、エタノールに転換される。USINA では、搾汁、発酵、蒸留、脱水等を経て無水エタノールが生産されるが、ブラジル内ではエタノール燃料（E100）も流通しているため、脱水前の含水エタノールも製品として出荷されている（ただし、他国でのエタノール製造パスとの比較も考慮し、本報告では無水エタノールを製造するパスのみを対象としている）。搾汁後のバガスは所内にてエネルギー源（電力、蒸気等）として利用されている。

無水アルコールは、主として国営石油会社であるペトロプラス社等の石油企業に直接販売され、ローリーで流通拠点へ搬送される。流通拠点には、ガソリン、エタノールそれぞれのタンクがあり、ラインブレンダーで混合され、パイプラインやローリーで供給されている。

② 本報告における算出

【サトウキビのプランテーション】

サトウキビのプランテーションについては、前回報告で参考にした Macedo, I.C. [1998] の他に最近では Macedo, I.C. *et al.* [2004] が公表されている。Macedo, I.C. *et al.* [2004] では新たにごみ焼却からの CH₄ 排出等が考慮されている。この文献では、2001 年から 2002 年のサトウキビ収穫期間のデータを用いているが、天候の影響が大きいプロセスについては 1998 年から 2003 年のデータを採用していると記載されている。

本報告では、Macedo, I.C. *et al.* [2004] に記載されている平均データと最良データをもとにエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量を算出した。その結果を表 3.1.8 に示す。

表 3.1.8 ブラジルでのサトウキビのプランテーションにおける
エネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

	データ名	単位	(平均)	(最良)
主製品	サトウキビ	kg	1.0	1.0
副産物	バガス	kg	0.28	0.28
エネルギー消費量	燃料:農業活動	MJ	0.038	0.038
	N 系肥料	MJ	0.052	0.053
	P ₂ O ₅ 系肥料	MJ	0.005	0.004
	K ₂ O 系肥料	MJ	0.009	0.007
	石灰	MJ	0.007	0.007
	除草剤	MJ	0.013	0.011
	殺虫剤	MJ	7.95E-4	7.95E-4
	合計	MJ	0.124	0.121
温室効果ガス排出量	CO ₂	kg	7.72E-3	7.62E-3
	ごみ焼却からの CH ₄ 排出 (CO ₂ 相当量)	kg	6.60E-3	6.60E-3
	ごみ焼却からの N ₂ O 排出 (CO ₂ 相当量)	kg	2.40E-3	2.40E-3
	土壌からの N ₂ O 排出 (CO ₂ 相当量)	kg	6.30E-3	6.30E-3
	合計 (CO ₂ 相当量)	kg	2.30E-2	2.29E-2

参考までに前回報告との比較を図 3.1.8 に示す。

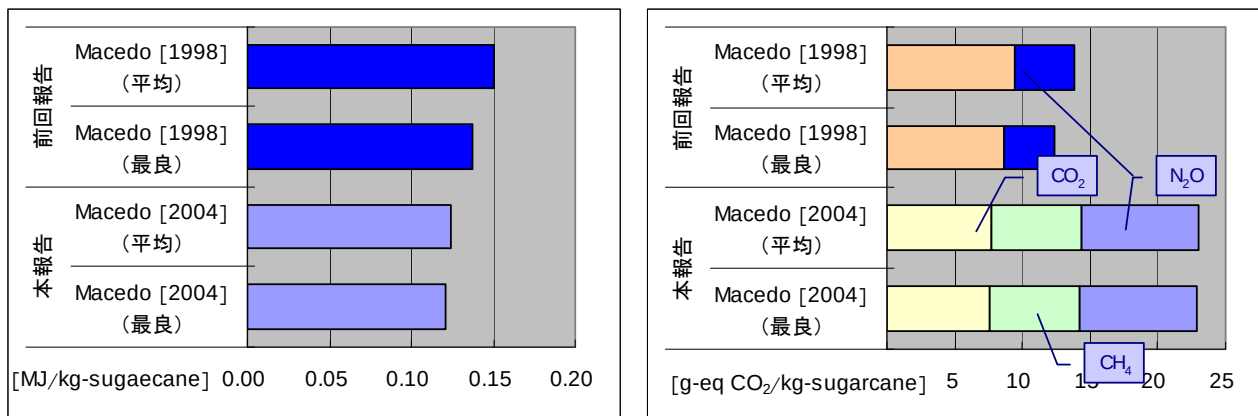


図 3.1.8 ブラジルでのサトウキビのプランテーションに関する本報告と前回報告の比較
(左: エネルギー消費量、右: 温室効果ガス排出量)

【サトウキビの国内輸送】

サトウキビのエタノール転換工場までの輸送については Macedo, I.C. *et al.* [2004] に記載されたエネルギー消費量に関するデータをもとに温室効果ガス排出量を算出した。ここで、燃料は軽油を想定した。

【サトウキビのエタノール転換】

サトウキビのエタノール転換についても、Macedo, I.C. *et al.* [2004] に記載されている平均データと最良データをもとにエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量を算出した。ここで、平均、最良それぞれのケースにおける転換効率は、サトウキビ 1 トンあたりそれぞれ 91.8 リットル、88.7 リットルである。また、エタノール転換工場内で消費するエネルギー（電力及び蒸気）はサトウキビ絞汁後のバガスを燃料として利用しており、エネルギー面で完全に独立している上、更に 5～15 %程度の余剰バガスが発生している。よって、本報告では、エネルギー利用効率の面で 2 通りのケースを想定し、平均ケースでは 8 %の余剰バガスが、最良ケースでは 15 %の余剰バガスが発生するものとしてエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量を算出した。その結果を表 3.1.9 に示す。

表 3.1.9 サトウキビのエタノール転換におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

	データ名	単位	(平均)	(最良)
主製品	エタノール	kg	1.0	1.0
副産物	余剰バガス	kg	0.31	0.59
エネルギー消費量	燃料用バガス	MJ	27.1	25.0
温室効果ガス排出量	CO ₂ 排出量(バイオマス由来)	kg	2.54	2.35

【エタノールの国内輸送】

エタノールのブラジル国内における輸送に関する各種設定は GREET 1.8a [2007] の設定に従った。ブラジル国内における輸送手段としては鉄道、パイプライン、トラックが用いられている。

③ 算出結果

ブラジルでのサトウキビからのエタノール製造パスについて、エタノール 1 MJ 製造時におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の算出結果を、表 3.1.10 ((A) 平均ケース、(B) 最良ケース) に示す。

表 3.1.10 (A) ブラジルでのサトウキビからのエタノール 1 MJ 製造時における
エネルギー消費量及び温室効果ガス排出量
(平均ケース)

			資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計
エネルギー消費量 [MJ/MJ-EtOH]	化石燃料由来		0.06	0.02	0.00	0.02	0.10
	バイオマス由来		0.00	0.00	1.01	0.00	1.01
	その他		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合計		0.06	0.02	1.01	0.02	1.11
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-EtOH]	CO ₂	化石燃料由来	4.02	1.66	0.00	1.17	6.86
		バイオマス由来	0.00	0.00	94.75	0.00	94.75
	CH ₄		3.43	0.00	0.00	0.00	3.43
	N ₂ O		4.53	0.00	0.00	0.00	4.53
	合計		11.98	1.66	94.75	1.17	109.57

表 3.1.10 (B) ブラジルでのサトウキビからのエタノール 1 MJ 製造時における
エネルギー消費量及び温室効果ガス排出量
(最良ケース)

		資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計	
エネルギー消費量 [MJ/MJ-EtOH]	化石燃料由来		0.06	0.02	0.00	0.02	0.10
	バイオマス由来		0.00	0.00	0.93	0.00	0.93
	その他		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合計		0.06	0.02	0.93	0.02	1.03
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-EtOH]	CO ₂	化石燃料由来	3.96	1.41	0.00	1.17	6.55
		バイオマス由来	0.00	0.00	87.54	0.00	87.54
	CH ₄		3.43	0.00	0.00	0.00	3.43
	N ₂ O		4.53	0.00	0.00	0.00	4.53
	合計		11.92	1.41	87.54	1.17	102.05

3.1.3 欧州

(1) 小麦からのエタノール及び ETBE 製造

① 前提条件

本報告で対象とした欧州での小麦からのエタノール及び ETBE 製造パスのフロー図を図 3.1.9 に示す：

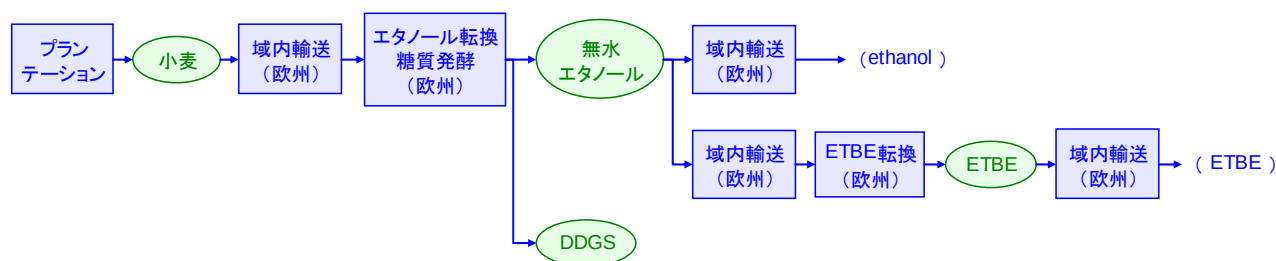


図 3.1.9 小麦からのエタノール及び ETBE 製造パスのフロー図

小麦は欧州域内で生産され、収穫、乾燥した後にエタノール原料として利用される。小麦は澱粉質のため、コーン同様、糖化してエタノール発酵する。よって、本研究ではコーンに適用するドライミル方式と同様のプロセスを適用することを想定し、ドライミル方式での所内エネルギーは現在最も使用されている天然ガスボイラーを利用するものとした。

また、副産物として発生する DDGS への負荷配分については、コーンの時と同様、本パスに由来するすべての環境負荷は（無水）エタノールが担うものとした。

② 本報告における算出

【小麦のプランテーション】

欧州での小麦からのエタノール製造に関する先行研究としては LowCVP[2004]が挙げられる。ここでは、英国で小麦を生産し、その実をエタノール原料として利用するパスが報告されている。

小麦のプランテーションについて、本報告では LowCVP [2004] に記載されているデータをもとにエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量を算出した。その結果を表 3.1.11 に示す。

表 3.1.11 小麦のプランテーションにおけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

	データ名	単位	量
主製品	小麦(乾燥後:含水率 3 %)	kg	1.0
エネルギー消費量	N 系肥料	MJ	1.48E-3
	P ₂ O ₅ 系肥料	MJ	7.13E-5
	K ₂ O 系肥料	MJ	4.25E-5
	除草剤(化学品)	MJ	1.13E-4
	軽油	MJ	1.39
	電力①化石燃料由来	MJ	9.81E-3
	電力②その他	MJ	0.12
	合計	MJ	1.52
温室効果ガス排出量	CO ₂	kg	0.05
	N ₂ O	kg	6.32E-4
	合計 (CO ₂ 相当量)	kg	0.24

【小麦の域内輸送】

小麦のエタノール転換工場までの輸送に関する各種設定（輸送形態（トラック）、輸送距離（片道 50 km）、燃費等）については、EUCAR [2007] の設定に従った。

【小麦のエタノール転換】

小麦のエタノール転換についても LowCVP [2004] に記載されているデータを参考にした。ここでは、エタノール転換プロセスで消費されるエネルギーについて、ケーススタディとして、天然ガスボイラーを使用する場合、天然ガスコジェネレーションを使用する場合、小麦わらボイラーを使用する場合の 3 ケースが設定されている。本報告では、天然ガスボイラーを使用する場合を基準ケースとしてエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量を算出した。その結果を表 3.1.12 に示す。

表 3.1.12 小麦のエタノール転換におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

	データ名	単位	量
主製品	エタノール	kg	1.0
副産物	DDGS(含水率 10%)	kg	0.49
エネルギー消費量	熱エネルギー(LHV)	MJ	9.6
	電力①化石燃料由来	MJ	0.4
	電力②その他	MJ	4.2
	合計	MJ	14.2
温室効果ガス排出量	CO ₂	kg	0.57

【エタノールの域内輸送】

エタノールの欧州域内における輸送に関する各種設定（輸送形態（トラック）、輸送距離（片道 150 km）、燃費等）については、EUCAR [2007] の設定に従った。

【ETBE 転換】

エタノールの ETBE 転換プロセスについては、前回報告同様、Kadam, K.L. *et al.* [1999] を参考にした。ここで、発電時のエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量については、日本に輸出実績のあるフランスのデータを用いた。

③ 算出結果

欧州での小麦からのエタノール及び ETBE 製造パスについて、それぞれ 1 MJ 製造時におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の算出結果を、表 3.1.13（エタノール）及び表 3.1.14（ETBE）に示す。

表 3.1.13 欧州での小麦からのエタノール 1 MJ 製造時におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

		資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計
エネルギー消費量 [MJ/MJ-EtOH]	化石燃料由来	0.16	0.01	0.37	0.01	0.54
	バイオマス由来	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	その他	0.01	0.00	0.16	0.00	0.17
	合計	0.17	0.01	0.53	0.01	0.71
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-EtOH]	CO ₂	化石燃料由来	15.95	0.40	21.35	38.26
		バイオマス由来	0.00	0.00	0.00	0.00
	CH ₄	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N ₂ O	20.83	0.00	0.00	0.00	20.83
	合計	36.78	0.40	21.35	0.56	59.09

表 3.1.14 欧州での小麦からの ETBE 1 MJ 製造時における
エネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

			資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	ETBE製造	燃料輸送	合計
エネルギー消費量 [MJ/MJ-ETBE]	化石燃料由来		0.05	0.00	0.13	0.00	0.11	0.01	0.31
	バイオマス由来		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	その他		0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.06
	合計		0.06	0.00	0.18	0.00	0.12	0.01	0.37
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-ETBE]	CO ₂	化石燃料由来	5.48	0.14	7.33	0.19	8.72	0.42	22.28
		バイオマス由来	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	CH ₄		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N ₂ O		7.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.15
	合計		12.63	0.14	7.33	0.19	8.72	0.42	29.44

(2) テンサイからのエタノール及び ETBE 製造

① 前提条件

本報告で対象とした欧州でのテンサイからのエタノール及び ETBE 製造パスのフロー図を図 3.1.10 に示す：

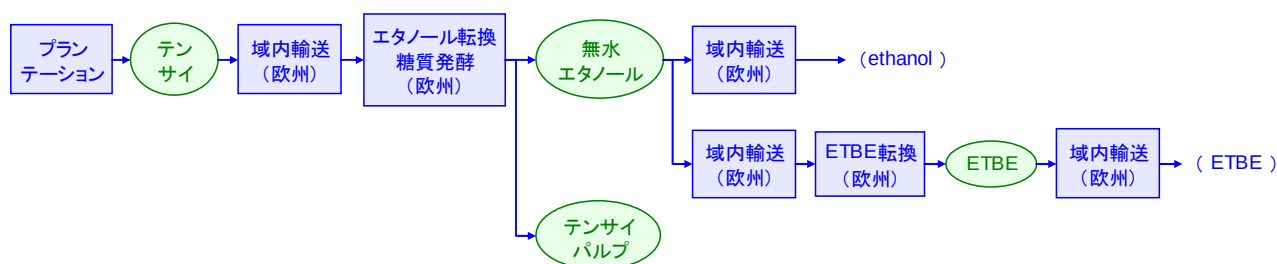


図 3.1.10 テンサイからのエタノール及び ETBE 製造パスのフロー図

テンサイは貯蔵中に糖分が低下していくため一定期間で搾汁を終了するが、エタノール転換は得られた糖蜜を利用して年間を通じて行われる。

② 本報告における算出

【テンサイのプランテーション】

欧州でのテンサイのプランテーションに関するデータを得ることができなかったため、本報告では、ヘクタールあたりの収穫量が欧州とほぼ同等である米国でのテンサイのプランテーションに関するデータを参考にして推計した。

欧州でのテンサイのプランテーションにおけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の算出結果を表 3.1.15 に示す。

表 3.1.15 テンサイのプランテーションにおけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

	データ名	単位	量
主製品	テンサイ	kg	1.0
エネルギー消費量	N 系肥料	MJ	1.57
	P ₂ O ₅ 系肥料	MJ	0.11
	K ₂ O 系肥料	MJ	0.08
	CaO 系肥料	MJ	0.53
	軽油	MJ	0.18
	合計	MJ	2.47
温室効果ガス排出量	CO ₂	kg	0.17

【テンサイの域内輸送】

テンサイのエタノール転換工場までの輸送に関する各種設定（輸送形態（トラック）、輸送距離（片道 50 km）、燃費等）については、EUCAR [2007] の設定に従った。

【テンサイのエタノール転換】

テンサイのエタノール転換に関する先行研究としては EUCAR [2007] が挙げられる。ここでは、59 MW 規模の工場を想定し、エタノール転換プロセスで消費されるエネルギーは天然ガスを使用するものとしている。

本報告においても、EUCAR [2007] に記載されているデータをもとに、テンサイのエタノール転換におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量を算出した。その結果を表 3.1.16 に示す。

表 3.1.16 テンサイのエタノール転換におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

	データ名	単位	量
主製品	エタノール	kg	1.0
副産物	テンサイパルプ	kg	0.69
エネルギー消費量	熱エネルギー (LHV)	MJ	8.14
	電力①化石燃料由来	MJ	0.11
	電力②その他	MJ	1.36
	合計	MJ	9.61
温室効果ガス排出量	CO ₂	kg	0.47

【エタノールの域内輸送】

小麦の時と同様、エタノールの欧州域内における輸送に関する各種設定は EUCAR [2007] の設定に従った。

【ETBE 転換】

小麦の時と同様の設定とした。

③ 算出結果

欧州でのテンサイからのエタノール及び ETBE 製造パスについて、それぞれ 1 MJ 製造時におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の算出結果を、表 3.1.17(エタノール)及び表 3.1.18 (ETBE) に示す。

表 3.1.17 欧州でのテンサイからのエタノール 1 MJ 製造時における
エネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

			資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計
エネルギー消費量 [MJ/MJ-EtOH]	化石燃料由来		0.84	0.02	0.31	0.01	1.17
	バイオマス由来		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	その他		0.00	0.00	0.05	0.00	0.05
	合計		0.84	0.02	0.36	0.01	1.22
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-EtOH]	CO ₂	化石燃料由来	56.44	1.23	17.55	0.56	75.77
		バイオマス由来	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	CH ₄		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N ₂ O		44.91	0.00	0.00	0.00	44.91
	合計		101.35	1.23	17.55	0.56	120.68

表 3.1.18 欧州でのテンサイからの ETBE 1 MJ 製造時における
エネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

		資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	ETBE製造	燃料輸送	合計	
エネルギー消費量 [MJ/MJ-ETBE]	化石燃料由来		0.29	0.01	0.11	0.00	0.11	0.01	0.52
	バイオマス由来		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	その他		0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02
	合計		0.29	0.01	0.12	0.00	0.12	0.01	0.54
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-ETBE]	CO ₂	化石燃料由来	19.38	0.42	6.03	0.19	8.72	0.42	35.16
		バイオマス由来	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	CH ₄		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N ₂ O		15.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.42
	合計		34.80	0.42	6.03	0.19	8.72	0.42	50.59

3.1.4 東南アジア

東南アジアについては、サトウキビからのエタノール製造パスのみを対象とした。

① 前提条件

本報告で対象とした東南アジアでのサトウキビからのエタノール製造パスのフロー図を図 3.1.11 に示す：

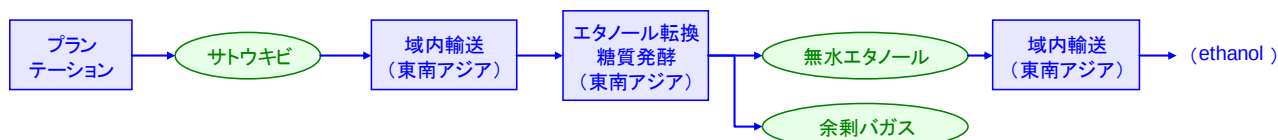


図 3.1.11 東南アジアでのサトウキビからのエタノール製造パスのフロー図

現在、東南アジアで燃料用エタノールの製造及び利用が進んでいる国としてタイが挙げられる。タイでは、サトウキビからのエタノール製造は主に砂糖工場で行われており、ブラジル同様、砂糖とエタノールの両方が製造されている。また、エタノール原料として廃糖蜜とサトウキビから搾汁されるケーンジュースの両方を利用している工場では、季節によってこれらを使い分けており、サトウキビ収穫期には原料としてケーンジュースを、そうでない時期には原料糖を利用している。

東南アジアでのエタノール製造について、本報告では、基準ケースとして、東南アジア域内でサトウキビを生産した後、同域内でエタノールを製造し、利用するパスを想定した。また、エタノール転換工場内で消費するエネルギーは、ブラジル同様、サトウキビ搾汁後のバガスを燃料として利用するものとした。ただし、含水エタノールから無水エタノールにする脱水プロセスについては、共沸蒸留が主流のブラジルとは異なり、モレキュラーシーブ技術を適用していると想定した。

② 本報告における算出

【サトウキビのプランテーション】

東南アジアでのサトウキビのプランテーションについては、先行研究として Samson, R. *et al.* [2001] においてフィリピンでのサトウキビ生産時の投入エネルギーに関するデータが記載されている。本報告においても、ここに記載されているデータをもとにエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量を算出した。その結果を表 3.1.19 に示す。

【サトウキビの域内輸送】

サトウキビのエタノール転換工場までの輸送については、地域の規模等を勘案し、欧州での小麦やテンサイの事例における各種設定（輸送形態（トラック）、輸送距離（片道 50 km）、燃費等）と同じものとした。

表 3.1.19 東南アジアでのサトウキビのプランテーションにおける
エネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

	データ名	単位	量
主製品	サトウキビ	kg	1.0
エネルギー消費量	N 系肥料	MJ	0.14
	P ₂ O ₅ 系肥料	MJ	8.29E-3
	K ₂ O 系肥料	MJ	5.89E-3
	軽油	MJ	0.20
	合計	MJ	0.36
温室効果ガス排出量	CO ₂	kg	0.02
	N ₂ O	kg	4.05E-5
	合計 (CO ₂ 相当量)	kg	0.35

【サトウキビのエタノール転換】

東南アジアでのサトウキビのエタノール転換の燃料として用いられるバガスの量は、Macedo, I.C. *et al.* [2004] に記載されているデータを共沸蒸留の場合と仮定し、その上でモレキュラーシーブを適用した場合に低減可能なエネルギーに相当する量のバガスが更に余るものとして推計した。そして、その推計結果をもとに東南アジアでのサトウキビのエタノール転換におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量を算出した。その結果を表 3.1.20 に示す。

表 3.1.20 サトウキビのエタノール転換におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

	データ名	単位	(平均)	(最良)
主製品	エタノール	kg	1.0	1.0
副産物	余剰バガス	kg	0.43	0.71
エネルギー消費量	燃料用バガス	MJ	26.2	24.1
温室効果ガス排出量	CO ₂ 排出量(バイオマス由来)	kg	2.46	2.26

【エタノールの域内輸送】

エタノールの東南アジア域内における輸送については、地域の規模等を勘案し、欧州域内でのエタノールの事例における各種設定（輸送形態（トラック）、輸送距離（片道 150 km）、燃費等）と同じものとした。

③ 算出結果

東南アジアでのサトウキビからのエタノール製造パスについて、エタノール 1 MJ 製造時におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の算出結果を、表 3.1.21 ((A) 平均ケース、(B) 最良ケース) に示す。

表 3.1.21 (A) 東南アジアでのサトウキビからのエタノール 1 MJ 製造時における
エネルギー消費量及び温室効果ガス排出量
(平均ケース)

			資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計
エネルギー消費量 [MJ/MJ-EtOH]	化石燃料由来		0.19	0.00	0.00	0.01	0.20
	バイオマス由来		0.00	0.00	0.98	0.00	0.98
	その他		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合計		0.19	0.00	0.98	0.01	1.17
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-EtOH]	CO ₂	化石燃料由来	12.18	0.13	0.00	0.56	12.87
		バイオマス由来	0.00	0.00	91.60	0.00	91.60
	CH ₄		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N ₂ O		6.27	0.00	0.00	0.00	6.27
	合計		18.45	0.13	91.60	0.56	110.75

表 3.1.21 (B) 東南アジアでのサトウキビからのエタノール 1 MJ 製造時における
エネルギー消費量及び温室効果ガス排出量
(最良ケース)

			資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計
エネルギー消費量 [MJ/MJ-EtOH]	化石燃料由来		0.19	0.00	0.00	0.01	0.20
	バイオマス由来		0.00	0.00	0.90	0.00	0.90
	その他		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合計		0.19	0.00	0.90	0.01	1.10
温室効果ガス排出量 [g eq-CO2/MJ-EtOH]	CO2	化石燃料由来	12.18	0.13	0.00	0.56	12.87
		バイオマス由来	0.00	0.00	84.39	0.00	84.39
	CH4		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N2O		6.27	0.00	0.00	0.00	6.27
	合計		18.45	0.13	84.39	0.56	103.53

3.1.5 日本

(1) コメからのエタノール及び ETBE 製造

① 前提条件

本報告で対象とした日本でのコメからのエタノール及び ETBE 製造パスのフロー図を図 3.1.12 に示す：

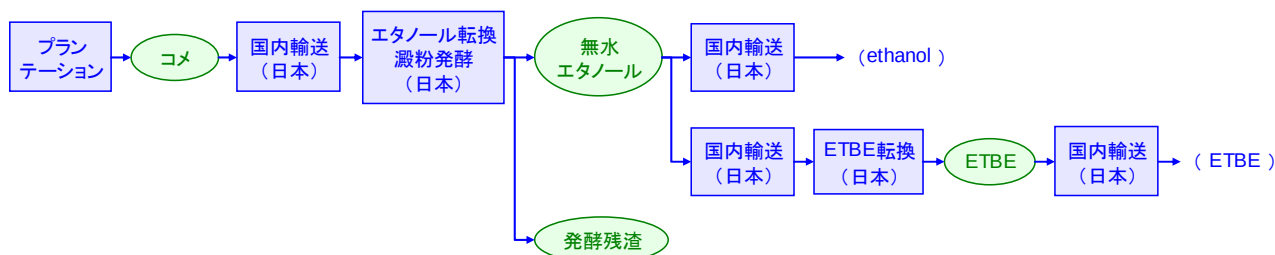


図 3.1.12 コメからのエタノール製造パスのフロー図

地域の水田農業振興への寄与や、とりわけ畑作物への転換が困難な地域の水田の有効活用等を目的に、新潟県において JA 全農がコメからエタノールを生産する事業に着手している。2006 年度には「北陸 193 号」（飼料用イネ品種）を計 83 a で栽培し、通常のコメの約 1.7 倍の収量である 10 a あたり 880 kg の収穫があった。低コスト栽培や主食と明確に区分した栽培の仕組み作り等が事業を進める上での今後の課題とされている。

本報告では、日本で生産されたコメを原料としてエタノールを製造し、日本国内で燃料利用するケースを想定する。コメからエタノールを製造する際に発酵残渣が発生するが、基準ケースとしては本パスに由来するすべての環境負荷はエタノールが担うものとした。

② 本報告における算出

【コメのプランテーション】

水稻生産についてはいくつかの先行研究が報告されている（小川ら [1988]、農業環境技術研究所 [2000]、工藤ら [2003]、農業環境技術研究所 [2003-1]、農業環境技術研究所 [2003-2] 等）。なかには、水田からの CH_4 や N_2O 等の温室効果ガスの排出量について、実測事例に基づくデータをまとめているものもあるが、現時点ではデータの不確実性が高く、また、「北陸 193 号」のように多収量米の開発も進められているが、Well-to-Tank での分析に利用できるだけの十分なデータが現時点では報告されていない。

よって、本報告では、10 a あたりのコメの収量を 596 kg（農業環境技術研究所 [2003-2]）とし、電力や灯油、軽油等のエネルギー消費量、施肥量、残渣収量等について上記各種先行研究をもとに推計した。

その内容をもとに算出したエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量を表 3.1.22 に示す。

表 3.1.22 日本でのコメのプランテーションにおけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

	データ名	単位	(最大*)	(最小*)
主製品	玄米(くず米を含む)	kg	1.0	1.0
副産物	籾殻	kg	0.22	0.22
	稲わら	kg	1.20	1.20
エネルギー消費量	N 系肥料	MJ	0.86	0.86
	P ₂ O ₅ 系肥料	MJ	0.14	0.15
	K ₂ O 系肥料	MJ	0.06	0.06
	CaO 系肥料	MJ	0.45	0.45
	電力①化石燃料由来	MJ	0.17	0.08
	電力②その他	MJ	0.16	0.08
	ガソリン	MJ	0.10	0.28
	灯油	MJ	0.69	
	軽油	Mj	0.56	0.48
	混合油	MJ	0.04	
	合計	MJ	3.23	2.44
温室効果ガス排出量	CO ₂	kg	0.22	0.17
	CH ₄	kg	0.03	0.03
	N ₂ O	kg	3.19E-4	3.19E-4
	合計 (CO ₂ 相当量)	kg	1.05	0.99

*) 化石燃料由来の温室効果ガス排出量が最大または最小ケースの意味

【コメの国内輸送】

コメのエタノール転換工場までの輸送については、欧州における小麦やテンサイ、東南アジアにおけるサトウキビの事例と比較することも考慮し、同一の設定（輸送形態（トラック）、輸送距離（片道 50 km）、燃費等）とした。

【コメのエタノール転換】

コメのエタノール転換については、現在のところ国内で商業生産されておらず、Well-to-Tank での分析に利用できるだけの十分なデータが現時点では報告されていない。よって、本報告では、環境省エコ燃料利用推進会議 [2006] 参考資料に示されているデータに基づき推計した。ただし、電力消費量については、本ケースと同様に澱粉質からエタノール転換するコーンのエタノール転換のケースのデータを適用した。その結果を表 3.1.23 に示す。

表 3.1.23 コメのエタノール転換におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

	データ名	単位	量
主製品	エタノール	kg	1.0
エネルギー消費量	軽油	MJ	13.7
	電力①化石燃料由来	MJ	1.3
	電力②その他	MJ	1.2
	合計	MJ	16.2
温室効果ガス排出量	CO ₂	kg	1.11

【エタノールの国内輸送】

前回報告（みずほ情報総研 [2004]）と同様の設定とした。

【ETBE 転換】

エタノールの ETBE 転換プロセスについては、前回報告同様、Kadam, K.L *et al.* [1999] を参考にした。ここで、発電時のエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量については、日本のデータを用いた。

③ 算出結果

日本でのコメからのエタノール及び ETBE 製造パスについて、それぞれ 1 MJ 製造時におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の算出結果を、表 3.1.24（エタノール：(A) 最大ケース、(B) 最小ケース）及び表 3.1.25（ETBE：(A) 最大ケース、(B) 最小ケース）に示す。

表 3.1.24 (A) 日本でのコメからのエタノール 1 MJ 製造時における
エネルギー消費量及び温室効果ガス排出量
(最大ケース)

		資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計
エネルギー消費量 [MJ/MJ-EtOH]	化石燃料由来	0.32	0.01	0.56	0.01	0.90
	バイオマス由来	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	その他	0.02	0.00	0.04	0.00	0.06
	合計	0.34	0.01	0.60	0.01	0.96
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-EtOH]	CO ₂	化石燃料由来	23.14	0.38	41.56	65.74
		バイオマス由来	0.00	0.00	0.00	0.00
	CH ₄	77.13	0.00	0.00	0.00	77.13
	N ₂ O	9.95	0.00	0.00	0.00	9.95
	合計	110.22	0.38	41.56	0.66	152.82

表 3.1.24 (B) 日本でのコメからのエタノール 1 MJ 製造時における
エネルギー消費量及び温室効果ガス排出量
(最小ケース)

			資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計
エネルギー消費量 [MJ/MJ-EtOH]	化石燃料由来		0.25	0.01	0.56	0.01	0.82
	バイオマス由来		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	その他		0.01	0.00	0.04	0.00	0.05
	合計		0.26	0.01	0.60	0.01	0.87
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-EtOH]	CO ₂	化石燃料由来	17.63	0.38	41.56	0.66	60.23
		バイオマス由来	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	CH ₄		77.13	0.00	0.00	0.00	77.13
	N ₂ O		9.95	0.00	0.00	0.00	9.95
	合計		104.71	0.38	41.56	0.66	147.31

表 3.1.25 (A) 日本でのコメからの ETBE 1 MJ 製造時における
エネルギー消費量及び温室効果ガス排出量
(最大ケース)

		資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	ETBE製造	燃料輸送	合計
エネルギー消費量 [MJ/MJ-ETBE]	化石燃料由来	0.11	0.00	0.19	0.00	0.12	0.01	0.43
	バイオマス由来	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	その他	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02
	合計	0.12	0.00	0.21	0.00	0.12	0.01	0.45
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-ETBE]	CO ₂	化石燃料由来	7.95	0.13	14.27	0.23	8.84	31.92
		バイオマス由来	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	CH ₄	26.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.49
	N ₂ O	3.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.42
	合計	37.85	0.13	14.27	0.23	8.84	0.50	61.82

表 3.1.25 (B) 日本でのコメからの ETBE 1 MJ 製造時における
エネルギー消費量及び温室効果ガス排出量
(最小ケース)

		資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	ETBE製造	燃料輸送	合計
エネルギー消費量 [MJ/MJ-ETBE]	化石燃料由来	0.09	0.00	0.19	0.00	0.12	0.01	0.40
	バイオマス由来	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	その他	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02
	合計	0.09	0.00	0.21	0.00	0.12	0.01	0.43
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-ETBE]	CO ₂	化石燃料由来	6.05	0.13	14.27	0.23	8.84	30.02
		バイオマス由来	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	CH ₄	26.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.49
	N ₂ O	3.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.42
	合計	35.96	0.13	14.27	0.23	8.84	0.50	59.93

(2) 間伐材からのエタノール及び ETBE 製造

① 前提条件

本報告で対象とした日本での間伐材からのエタノール及び ETBE 製造パスのフロー図を図 3.1.13 に示す：

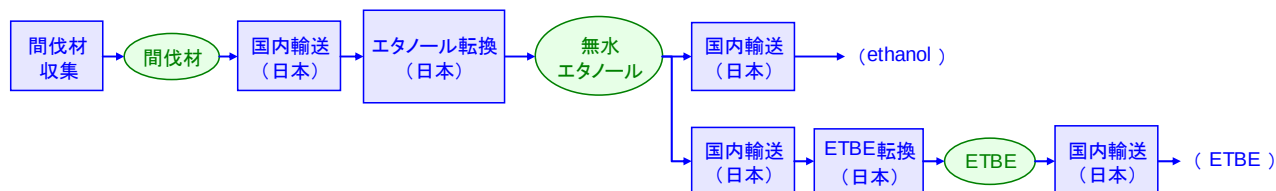


図 3.1.13 間伐材からのエタノール製造パスのフロー図

未利用間伐材等の木質バイオマスは食糧と競合しない資源として、日本におけるバイオ燃料向け資源の一つとして注目されている。本報告では、森林で間伐材を伐採、造材作業を行う土場でチップ化してエタノール転換工場へ搬送するパスを想定した。

② 本報告における算出

【間伐材の収集】

間伐材の収集については、早田 [2004] にチェーンソーで間伐し、スイングヤードで搬出するケースについてのデータが記載されている。本報告では、このデータをもとにエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量を算出した。その結果を表 3.1.26 に示す。

表 3.1.26 間伐材の収集におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

	データ名	単位	量
主製品	間伐材チップ	kg	1.0
エネルギー消費量	伐採～現地チップ化	MJ	0.53
	間伐材輸送	MJ	0.04
	合計	MJ	0.57
温室効果ガス排出量	CO ₂	kg	0.04

【間伐材のエタノール転換】

木質バイオマスからのエタノール転換については、建設廃材を原料にして国内で商業生産が始まっているが、現在のところ糖化収率が低く、技術開発が続けられている状況である。

本報告では、間伐材のエタノール転換におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量は、セルロース系バイオマスの時に用いたデータをもとに算出した。ここで、間伐材中のセルロース、ヘミセルロース成分比率をそれぞれ 41.4 %、28.1 %と想定し、エタノール収率を 0.35 L/t-dry とした。算出結果を表 3.1.27 に示す。

表 3.1.27 間伐材のエタノール転換におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

	データ名	単位	(最大*)	(最小*)
主製品	エタノール	kg	1.0	1.0
エネルギー消費量	電力①化石燃料由来	MJ	4.5	—
	電力②その他	MJ	4.3	—
	バイオマス由来エネルギー	MJ	40.6	49.5
	合計	MJ	49.4	49.5
温室効果ガス排出量	CO ₂ 排出量(化石燃料由来)	kg	0.33	—
	CO ₂ 排出量(バイオマス由来)	kg	3.53	4.62
	合計	kg	3.86	4.62

*) 化石燃料由来の温室効果ガス排出量が最大または最小ケースの意味

【エタノールの国内輸送】

前回報告（みずほ情報総研 [2004]）と同様の設定とした。

【ETBE 転換】

コメの時と同様の設定とした。

③ 算出結果

日本での間伐材からのエタノール及び ETBE 製造パスについて、それぞれ 1 MJ 製造時におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の算出結果を、表 3.1.28（エタノール：(A) 最大ケース、(B) 最小ケース）及び表 3.1.29（ETBE：(A) 最大ケース、(B) 最小ケース）に示す。

表 3.1.28 (A) 日本での間伐材からのエタノール 1 MJ 製造時における
エネルギー消費量及び温室効果ガス排出量
(最大ケース)

			資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計
エネルギー消費量 [MJ/MJ-EtOH]	化石燃料由来		0.09	0.01	0.17	0.01	0.27
	バイオマス由来		0.00	0.00	1.51	0.00	1.51
	その他		0.00	0.00	0.16	0.00	0.16
	合計		0.09	0.01	1.84	0.01	1.95
温室効果ガス排出量 [g eq-CO2/MJ-EtOH]	CO2	化石燃料由来	6.69	0.57	12.34	0.66	20.26
		バイオマス由来	0.00	0.00	131.77	0.00	131.77
	CH4		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N2O		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合計		6.69	0.57	144.12	0.66	152.04

表 3.1.28 (B) 日本での間伐材からのエタノール 1 MJ 製造時における
エネルギー消費量及び温室効果ガス排出量
(最小ケース)

			資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計
エネルギー消費量 [MJ/MJ-EtOH]	化石燃料由来		0.09	0.01	0.00	0.01	0.11
	バイオマス由来		0.00	0.00	1.85	0.00	1.85
	その他		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合計		0.09	0.01	1.85	0.01	1.95
温室効果ガス排出量 [g eq-CO2/MJ-EtOH]	CO2	化石燃料由来	6.69	0.57	0.00	0.66	7.92
		バイオマス由来	0.00	0.00	172.40	0.00	172.40
	CH4		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N2O		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合計		6.69	0.57	172.40	0.66	180.32

表 3.1.29 (A) 日本での間伐材からの ETBE 1 MJ 製造時における
エネルギー消費量及び温室効果ガス排出量
(最大ケース)

		資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	ETBE製造	燃料輸送	合計	
エネルギー消費量 [MJ/MJ-ETBE]	化石燃料由来		0.03	0.00	0.06	0.00	0.12	0.01	0.22
	バイオマス由来		0.00	0.00	0.52	0.00	0.00	0.00	0.52
	その他		0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.06
	合計		0.00	0.00	0.63	0.00	0.12	0.01	0.76
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-ETBE]	CO ₂	化石燃料由来	2.30	0.20	4.24	0.23	8.84	0.50	16.30
		バイオマス由来	0.00	0.00	45.25	0.00	0.00	0.00	45.25
	CH ₄		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N ₂ O		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合計		2.30	0.20	49.49	0.23	8.84	0.50	61.55

表 3.1.29 (B) 日本での間伐材からの ETBE 1 MJ 製造時における
エネルギー消費量及び温室効果ガス排出量
(最小ケース)

		資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	ETBE製造	燃料輸送	合計	
エネルギー消費量 [MJ/MJ-ETBE]	化石燃料由来		0.03	0.00	0.00	0.00	0.12	0.01	0.16
	バイオマス由来		0.00	0.00	0.63	0.00	0.00	0.00	0.64
	その他		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合計		0.00	0.00	0.63	0.00	0.12	0.01	0.76
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-ETBE]	CO ₂	化石燃料由来	2.30	0.20	0.00	0.23	8.84	0.50	12.06
		バイオマス由来	0.00	0.00	59.20	0.00	0.00	0.00	59.20
	CH ₄		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N ₂ O		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合計		2.30	0.20	59.20	0.23	8.84	0.50	71.26

3.2 バイオディーゼル燃料（BDF）

BDF については、米国及びブラジルでは大豆、欧州では菜種、東南アジアではアブラヤシからの BDF 製造パスをそれぞれ対象とした。

3.2.1 米国

① 前提条件

本報告で対象とした米国での大豆からの BDF 製造パスのフロー図を図 3.2.1 に示す：

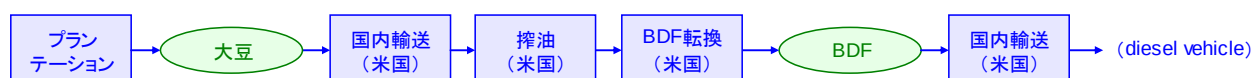


図 3.2.1 米国での大豆からの BDF 製造パスのフロー図

米国における BDF 原料の中心は大豆であるが、BDF 転換工場は徐々にマルチフィードストック型に移行してきている。よって、本報告では米国で大豆を生産、BDF を製造した後、米国内で燃料利用するパスを想定した。生産された大豆は、農家からトラックで集荷場へ搬送され、集荷場に隣接する大豆搾油工場で搾油される。搾油後の植物油は劣化防止のため、すぐに BDF 転換されるものとした。

② 本報告における算出

【大豆のプランテーション】

米国での大豆のプランテーションについては Sheehan, J. *et al.* [1998] に詳細なデータが記載されている。ただし、この文献は 10 年程前のもので少し古いため、比較的新しい文献 (Ferguson, R.B. *et al.* [2006] 等) と比較した。例として肥料について比較したものを表 3.2.1 に示す。

このように、地域によって幅はあるが、ほぼ同レベルであることが確認できる。よって、本報告では、これらのデータと、最近の大豆の生産状況を考慮してエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量を算出した。その結果を表 3.2.2 に示す。

表 3.2.1 米国での大豆のプランテーションにおける施肥量 [kg/ha] の比較

肥料の種類	Ferguson, R.B. <i>et al.</i> [2006]	Sheehan, J. <i>et al.</i> [1998]
窒素	11 ～ 28	14
リン	38 ～ 73	45
カリウム	40 ～ 111	77

表 3.2.2 米国での大豆のプランテーションにおけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

	データ名	単位	量
主製品	大豆	kg	1.0
エネルギー消費量 (肥料等は製造時の エネルギー消費量)	N 系肥料	MJ	0.30
	P ₂ O ₅ 系肥料	MJ	0.20
	K ₂ O 系肥料	MJ	0.18
	殺虫剤	MJ	0.76
	軽油	MJ	0.95
	ガソリン	MJ	0.25
	LPG	MJ	0.04
	天然ガス	MJ	8.9E-5
	電力①化石燃料由来	MJ	0.04
	電力②その他	MJ	0.02
	合計	MJ	2.74
温室効果ガス排出量	CO ₂	kg	0.17
	N ₂ O	kg	8.44E-5
	合計 (CO ₂ 相当量)	kg	0.20

【大豆の国内輸送】

大豆の BDF 転換工場までの輸送に関する各種設定（輸送形態、積載量、燃費等）については、GREET 1.8a [2007] の設定に従った。また、輸送距離については Sheehan, J. *et al.* [1998] を参考に片道 75 miles とした。

【大豆の搾油】

米国での大豆の搾油に関する具体的なデータを収集することができなかったため、本報告では Sheehan, J. *et al.* [1998] をもとにエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量を算出した。その結果を表 3.2.3 に示す。

表 3.2.3 米国での大豆の搾油におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

	データ名	単位	量
主製品	大豆油	kg	1.0
エネルギー消費量	蒸気	MJ	6.9
	天然ガス	MJ	7.3
	電力①化石燃料由来	MJ	3.4
	電力②その他	MJ	1.4
	合計	MJ	19.0
温室効果ガス排出量	CO ₂	kg	1.24

【大豆油の BDF 転換】

大豆油の BDF 転換については、米国における事例をもとにしたものが Sheehan, J. *et al.* [1998] に整理されている。ここでは機械的な油の抽出ではなく、溶剤によって油を抽出している例が記載されている。

本報告では、Sheehan, J. *et al.* [1998] に記載されたデータをもとにエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量を算出した。その結果を表 3.2.4 に示す。

表 3.2.4 米国での大豆油の BDF 転換におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

	データ名	単位	量
主製品	BDF(大豆油由来)	kg	1.0
エネルギー消費量	メタノール	MJ	0.91
	蒸気	MJ	3.43
	電力①化石燃料由来	MJ	0.54
	電力②その他	MJ	0.21
	合計	MJ	5.09
温室効果ガス排出量	CO ₂	kg	0.35

【BDF の国内輸送】

大豆から製造した BDF の米国内における輸送に関する各種設定は GREET 1.8a [2007] の設定に従った。米国内における輸送手段としてはトラック、船、鉄道、パイプラインが用いられている。

③ 算出結果

米国での大豆からの BDF 製造パスについて、BDF MJ 製造時におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の算出結果を表 3.2.5 に示す。

表 3.2.5 米国での大豆からの BDF 1 MJ 製造時におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

		資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計
エネルギー消費量 [MJ/MJ-FAME]	化石燃料由来	0.89	0.04	0.13	0.01	1.06
	バイオマス由来	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	その他	0.04	0.00	0.01	0.00	0.05
	合計	0.93	0.04	0.14	0.01	1.11
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-FAME]	CO ₂	化石燃料由来	59.37	2.83	9.42	72.06
		バイオマス由来	0.00	0.00	0.00	0.00
	CH ₄	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N ₂ O	3.53	0.00	0.00	0.00	3.53
	合計	62.90	2.83	9.42	0.44	75.59

3.2.2 ブラジル

① 前提条件

本報告で対象としたブラジルでの大豆からの BDF 製造パスのフロー図を図 3.2.2 に示す：

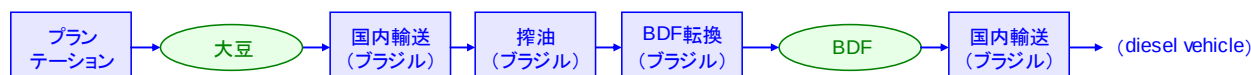


図 3.2.2 ブラジルでの大豆からの BDF 製造パスのフロー図

ブラジルにおける BDF の原料は大豆である。ブラジルでの大豆からの BDF 製造パスについて、本報告ではブラジルで大豆を生産、BDF を製造した後、ブラジル国内で燃料利用するパスを想定した。ここで、米国同様、生産された大豆は農家からトラックで集荷場へ搬送され、集荷場に隣接する大豆搾油工場で搾油されるものとした。また、搾油後の植物油は劣化防止のため、すぐに BDF 転換されるものとした。

② 本報告における算出

【大豆のプランテーション】

ブラジルにおける大豆のプランテーションについてはいくつかの先行研究が報告されている (Ortega, E. *et al.* [2005]、Kulay, L.A. *et al.* [2005]、Schmidt, J.H. [2007] 等)。これらを比較し、本報告ではブラジル現地の研究者がまとめた Ortega, E. *et al.* [2005] 及び Kulay, L.A. *et al.* [2005] を参考にすることにした。

Ortega, E. *et al.* [2005] ではブラジルにおける各種大豆栽培方法について検討されており、大別して生物学モデル (Biological models) と産業モデル (Industrial models) の 2 つのモデルが設定されている。ここで、生物学モデルでは家族で営む農家や有機農法の場合、産業モデルでは商業的に大規模経営されている場合が想定されている。更に産業モデルについては、化学肥料を大量に投入するケース (化学肥料ケース) と除草剤を利用して不耕起栽培するケース (除草剤ケース) が報告されている。

本報告では BDF 製造を前提としているため、これらのケースのうち大規模経営されている場合を想定した産業モデルを参考にした。また、ブラジルで実際に行われている大豆栽培のうち化学肥料ケースと除草剤ケースの割合が不明のため、ここではこれら 2 ケースを対象に算出して比較した。その結果、化学肥料ケースの方が除草剤ケースに比べエネルギー消費量で約 2 % 程度大きい程度の差で大差ないことから、本報告ではブラジルでの大豆のプランテーションとして値の大きい化学肥料ケースを採用することにした。

ブラジルでの大豆のプランテーションにおけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量について算出した結果を表 3.2.6 に示す

【大豆の国内輸送】

大豆の BDF 転換工場までの輸送については新日鉱テクノリサーチ [2006] を参考にした。ここで、輸送距離は片道 75 miles とした。

表 3.2.6 ブラジルでの大豆のプランテーションにおけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

	データ名	単位	量
主製品	大豆	kg	1.0
エネルギー消費量 (肥料等は製造時の エネルギー消費量)	P ₂ O ₅ 系肥料	MJ	0.75
	K ₂ O 系肥料	MJ	0.40
	石灰	MJ	1.98
	除草剤	MJ	0.70
	殺虫剤	MJ	0.26
	軽油	MJ	1.59
	合計	MJ	5.68
温室効果ガス排出量	CO ₂	kg	0.44

【大豆の搾油】

ブラジルでの大豆の搾油については、ヘキサンを用いた溶媒抽出に関する報告がある Schmidt, J.H. *et al.* [2007] をもとにエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量を算出した。その結果を表 3.2.7 に示す。

表 3.2.7 ブラジルでの大豆の搾油におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

	データ名	単位	量
主製品	大豆油	kg	1.0
エネルギー消費量	燃料油	MJ	0.76
	天然ガス	MJ	1.47
	電力①化石燃料由来	MJ	0.05
	電力②その他	MJ	0.17
	合計	MJ	2.45
温室効果ガス排出量	CO ₂	kg	0.15

【大豆油の BDF 転換】

ブラジルでの大豆油の BDF 転換については米国での BDF 転換と同様の設定とした。

【BDF の国内輸送】

大豆から製造した BDF のブラジル国内における輸送に関する各種設定は GREET 1.8a [2007] の設定に従った。ブラジル国内における輸送手段としては鉄道、トラック、パイプラインが用いられている。

③ 算出結果

ブラジルでの大豆からの BDF 製造パスについて、BDF MJ 製造時におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の算出結果を表 3.2.8 に示す。

表 3.2.8 ブラジルでの大豆からの BDF 1 MJ 製造時における
エネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

			資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計
エネルギー消費量 [MJ/MJ-FAME]	化石燃料由来		0.27	0.01	0.12	0.01	0.42
	バイオマス由来		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	その他		0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
	合計		0.28	0.01	0.13	0.01	0.43
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-FAME]	CO ₂	化石燃料由来	20.31	0.74	8.37	0.86	30.28
		バイオマス由来	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	CH ₄		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N ₂ O		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合計		20.31	0.74	8.37	0.86	30.28

3.2.3 欧州

① 前提条件

本報告で対象とした欧州での菜種からの BDF 製造パスのフロー図を図 3.2.3 に示す：

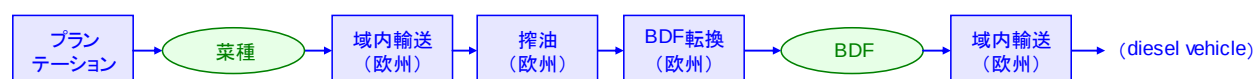


図 3.2.3 欧州での菜種からの BDF 製造パスのフロー図

欧州における BDF 原料の中心は菜種、ひまわり等である。本報告では菜種を取り上げ、欧州で菜種を生産、BDF を製造した後、欧州域内で燃料利用するパスを想定した。生産された菜種は、農家からトラックで集荷場へ搬送され、集荷場に隣接する菜種搾油工場で搾油される。搾油後の植物油は劣化防止のため、すぐに BDF 転換されるものとした。

② 本報告における算出

【菜種のプランテーション】

欧州での菜種のプランテーションについてはいくつかの先行研究が報告されている (Franke, *et al.* [1998]、Institute for Energy and Environmental Research Heidelberg GmbH (ifeu) [2003]、Schmidt, J.H. *et al.* [2007] 等)。Franke, *et al.* [1998] と ifeu [2003] はドイツ、Schmidt, J.H. *et al.* [2007] はデンマークでの菜種栽培に関する報告である。現在の EU におけるバイオディーゼル生産量は

ドイツが最も多いため、ドイツでの報告を参考にするのが望ましいと考えられる。しかしながら、菜種栽培に必要な肥料、除草剤、殺虫剤の投入量や耕作に必要なエネルギーに関するデータが明確に示されている文献は Schmidt, J.H. *et al.* [2007] であるため、本報告ではこの文献に記載されたデータをもとにエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量を算出した。その結果を表 3.2.9 に示す。

表 3.2.9 欧州での菜種のプランテーションにおけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

	データ名	単位	量
主製品	菜種	kg	1.0
エネルギー消費量 (肥料等は製造時の エネルギー消費量)	N 系肥料	MJ	2.46
	P ₂ O ₅ 系肥料	MJ	0.22
	K ₂ O 系肥料	MJ	0.20
	除草剤	MJ	0.03
	殺虫剤	MJ	1.76E-3
	軽油	MJ	1.15
	合計	MJ	4.07
温室効果ガス排出量	CO ₂	kg	0.24
	N ₂ O	kg	6.98E-4
	合計 (CO ₂ 相当量)	kg	0.44

【菜種の域内輸送】

菜種の BDF 転換工場までの輸送に関する各種設定（輸送形態（トラック）、輸送距離（片道 50 km）、燃費等）については、EUCAR [2007] の設定に従った。

【菜種の搾油】

欧州での菜種の搾油についてはプランテーション同様、Schmidt, J.H. *et al.* [2007] をもとにエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量を算出した。その結果を表 3.2.10 に示す。

表 3.2.10 欧州での菜種の搾油におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

	データ名	単位	量
主製品	菜種油	kg	1.0
エネルギー消費量	蒸気	MJ	1.59
	地域熱	MJ	2.00E-3
	電力①化石燃料由来	MJ	0.03
	電力②その他	MJ	0.39
	合計	MJ	2.01
温室効果ガス排出量	CO ₂	kg	0.12

【菜種油の BDF 転換】

菜種油の BDF 転換についても同様に Schmidt, J.H. *et al.* [2007] をもとにエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量を算出した。その結果を表 3.2.11 に示す。

表 3.2.11 欧州での菜種油の BDF 転換におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

	データ名	単位	量
主製品	BDF(菜種油由来)	kg	1.0
エネルギー消費量	メタノール	MJ	1.52
	蒸気	MJ	0.25
	地域熱	MJ	3.26E-4
	電力①化石燃料由来	MJ	0.13
	電力②その他	MJ	1.67
	合計	MJ	3.57
温室効果ガス排出量	CO ₂	kg	0.09

【BDF の域内輸送】

BDF の欧州域内における輸送に関する各種設定(輸送形態(トラック)、輸送距離(片道 150 km)、燃費等)については、EUCAR [2007] の設定に従った。

③ 算出結果

欧州での菜種からの BDF 製造パスについて、BDF MJ 製造時におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の算出結果を表 3.2.12 に示す。

表 3.2.12 欧州での菜種からの BDF 1 MJ 製造時における
エネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

			資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計
エネルギー消費量 [MJ/MJ-FAME]	化石燃料由来		0.34	0.00	0.05	0.01	0.40
	バイオマス由来		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	その他		0.01	0.00	0.05	0.00	0.06
	合計		0.35	0.00	0.10	0.01	0.46
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-FAME]	CO ₂	化石燃料由来	20.77	0.26	2.49	0.41	23.93
		バイオマス由来	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	CH ₄		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N ₂ O		14.80	0.00	0.00	0.00	14.80
	合計		35.57	0.26	2.49	0.41	38.73

3.2.4 東南アジア

① 前提条件

本報告で対象とした東南アジアでのアブラヤシからの BDF 製造パスのフロー図を図 3.2.4 に示す：

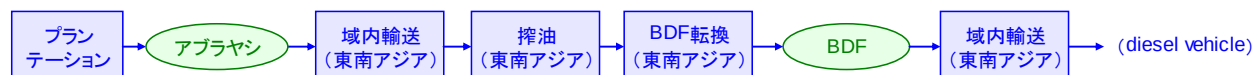


図 3.2.4 東南アジアでのアブラヤシからの BDF 製造パスのフロー図

本報告では、世界的なアブラヤシ生産地域である東南アジアにおいて、パーム油を生産、BDF を製造した後、東南アジア地域内で燃料利用するパスを想定した。生産された生鮮果房(Fresh Fruit Bunch (FFB))は近接する搾油工場に持ち込まれて搾油される。搾油後の植物油は劣化防止のため、すぐに BDF 転換されるものとした。

② 本報告における算出

【アブラヤシのプランテーション】

東南アジアにおけるアブラヤシ栽培に関する情報は、Corley, R.H.V. *et al.* [2003]、Schmidt, J.H. *et al.* [2007] で報告されている。本報告では、これらを参考に、比較的管理が行き届いているマレーシアでのアブラヤシ栽培を想定してエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量を算出した。

アブラヤシは 25 年で 10 m 程度に成長する。また、植え付け後 3 年目からはパーム油がとれる FFB が収穫可能となる。収量は植え付け後の年数によって異なるが、Corley, R.H.V. *et al.* [2003] によると図 3.2.5 のようになる。なお、本報告での算出にあたっては国連食糧農業機関 (FAO) のデータベース (FAOSTAT) の情報をもとに 20.55 t/ha と置いた。

プロセス	年															
	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	
育苗																
植え付け																
収穫																
植え替え																
果房収量変化イメージ(参考値)*																
[t / (ha・年)]																
34																
30																
26																
22																
18																
14																
10																

(*) 収量は栽培場所や品種等により異なる

図 3.2.5 FFV 収量変化イメージ

【出典】 Corley, R.H.V. *et al.* [2003] をもとにみずほ情報総研が作成

施肥量については、植え付け後 2 年間（未成熟期）とその後 23 年目（成熟期）までとは異なり、Schmidt, J.H. *et al.* [2007] では次に示すような報告がなされている。

表 3.2.13 未成熟期と成熟期における施肥量 [kg/ha] の比較

肥料の種類	未成熟期(～2 年目)	成熟期(3～25 年目)
窒素	90	106
リン	35	73
カリウム	140	210

本報告では、表 3.2.13 に従い年間あたりの施肥量を算出し、窒素、リン、カリウム肥料をそれぞれ 105 kg/ha、70 kg/ha、240 kg/ha とした。また、殺虫剤、除草剤、防カビ剤及び殺鼠剤の消費量についてはいずれも Schmidt, J.H. *et al.* [2007] をもとに設定した。

エネルギー消費量については未成熟期と成熟期で異なると考えられるが、具体的なデータを得ることができなかったため、Schmidt, J.H. *et al.* [2007] に記載されている平均値を引用した。

本報告で算出したアブラヤシのプランテーションにおけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量を表 3.2.14 に示す。

表 3.2.14 東南アジアでのアブラヤシのプランテーションにおけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

	データ名	単位	量
主製品	アブラヤシ (FFB)	kg	1.0
エネルギー消費量 (肥料等は製造時の エネルギー消費量)	N 系肥料	MJ	0.28
	P ₂ O ₅ 系肥料	MJ	0.04
	K ₂ O 系肥料	MJ	0.06
	除草剤	MJ	0.04
	殺虫剤	MJ	0.01
	防カビ剤	MJ	1.61E-4
	殺鼠剤	MJ	3.47E-6
	軽油	MJ	0.10
	電力①化石燃料由来	MJ	2.46E-6
	電力②その他	MJ	1.16E-7
	合計	MJ	0.54
温室効果ガス排出量	CO ₂	kg	0.03
	N ₂ O	kg	7.97E-5
	合計 (CO ₂ 相当量)	kg	0.05

【FFB の域内輸送】

FFB の BDF 転換工場までの輸送距離は短い（10 km 程度）ため、前回報告同様、エネルギー消費量及び温室効果ガス排出量はゼロとした。

【FFB の搾油】

FFB の搾油については Schmidt, J.H. *et al.* [2007] を参考にした。また、パーム粗油 (Crude Palm Oil (CPO)) の搾油率については、マレーシアパームオイル協会 (Malaysian Palm Oil Board (MPOB)) のデータである 2007 年 1～6 月の平均搾油率 20.03 %を用いた。

本報告で算出した FFB の搾油におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量を表 3.2.15 に示す。

表 3.2.15 東南アジアでの FFB の搾油におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

	データ名	単位	量
主製品	CPO	kg	1.0
エネルギー消費量	軽油	MJ	0.07
	電力①化石燃料由来	MJ	3.81E-3
	電力②その他	MJ	1.80E-4
	蒸気 (バイオマス由来)	MJ	8.44
	合計	MJ	8.52
温室効果ガス排出量	CO ₂ 排出量 (化石燃料由来)	kg	5.43E-3
	CO ₂ 排出量 (バイオマス由来)	kg	1.12
	合計	kg	1.12

【CPO の BDF 転換】

CPO の BDF 転換についても同様に Schmidt, J.H. *et al.* [2007] をもとにエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量を算出した。その結果を表 3.2.16 に示す。

表 3.2.16 東南アジアでの CPO の BDF 転換におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

	データ名	単位	量
主製品	BDF (アブラヤシ由来)	kg	1.0
エネルギー消費量	メタノール	MJ	1.52
	蒸気	MJ	0.36
	電力①化石燃料由来	MJ	1.34
	電力②その他	MJ	0.06
	合計	MJ	3.28
温室効果ガス排出量	CO ₂	kg	0.17

【BDF の域内輸送】

BDF の東南アジア域内における輸送については、地域の規模等を勘案し、欧州域内での BDF の事例における各種設定 (輸送形態 (トラック)、輸送距離 (片道 150 km)、燃費等) と同じものとした。

③ 算出結果

東南アジアでのアブラヤシからの BDF 製造パスについて、BDF MJ 製造時におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の算出結果を表 3.2.17 に示す。

表 3.2.17 東南アジアでのアブラヤシからの BDF 1 MJ 製造時における
エネルギー消費量及び温室効果ガス排出量

			資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計
エネルギー消費量 [MJ/MJ-FAME]	化石燃料由来		0.09	0.00	0.09	0.01	0.18
	バイオマス由来		0.26	0.00	0.00	0.00	0.26
	その他		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合計		0.35	0.00	0.09	0.01	0.44
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-FAME]	CO ₂	化石燃料由来	4.76	0.00	4.61	0.41	9.78
		バイオマス由来	34.45	0.00	0.00	0.00	34.45
	CH ₄		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N ₂ O		3.63	0.00	0.00	0.00	3.63
	合計		42.85	0.00	4.61	0.41	47.86

4. ケーススタディ

前章ではバイオ燃料に関する Well-to-Tank での基準ケースにおけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量について整理した。ここでは、特にバイオエタノールについて、今後各国で量産された場合や日本で導入量が増えた場合等、次に挙げる新たに想定されるパスについての Well-to-Tank でのエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の算出を試みた。

- ① 米国においてコーンストーバーもエタノール原料として利用するケース … 4.1.1
- ②-1 ブラジルにおいてバガス余剰分をエタノール原料として利用するケース
- ②-2 所内エネルギーとして利用しているバガスをエタノール原料にまわし、その代替エネルギーとして新たに軽油を投入するケース
- ②-3 省エネルギー技術を導入して増加したバガス余剰分をエタノール原料として利用するケース … 4.1.2
- ③ 欧州において小麦わらもエタノール原料として利用するケース … 4.1.3
- ④ 日本において稲わらもエタノール原料として利用するケース … 4.2.1
- ⑤ 欧州のエタノールを ETBE として日本に輸入し利用するケース … 4.2.2
- ⑥ ブラジルのエタノールを輸入し日本で ETBE として利用するケース … 4.2.3
- ⑦ 東南アジアのエタノールを輸入し日本で ETBE として利用するケース … 4.2.4

4.1 海外でのバイオエタノールに関するケーススタディ

4.1.1 米国におけるコーンストーバーの利用

米国でのコーンからのエタノール製造パスに関するケーススタディとして、主原料として利用されているコーンの栽培に伴って発生するコーンストーバーもエタノール原料として利用するパスを取り上げた。

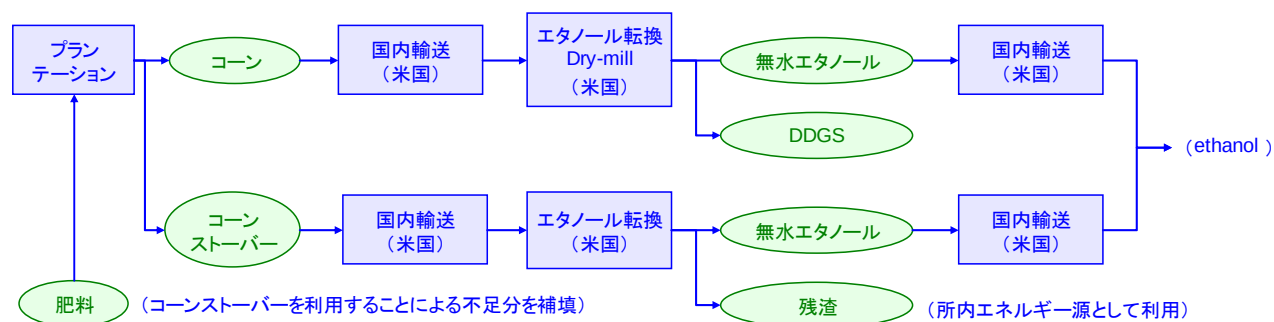


図 4.1.1 コーンストーバーも原料として利用するエタノール製造パスのフロー図

本ケースでは、現状は圃場へ還元されているコーンストーバーを原料利用するため、コーンストーバー由来の肥料成分が不足することになる。従って、ここでは不足する肥料相当量は化学肥

料で追肥することを想定した。ここで、コーンストーバー内に含まれる肥料成分（N, P, K の含有率）は表 4.1.1 に示すとおりとし、同量相当量の化学肥料を追肥するものとした。

表 4.1.1 コーンストーバー由来の肥料成分

肥料成分	含有率
N	0.5 %
P	0.1 %
K	1.0 %

【出典】 Glassner, D. et al. [1999]

また、エタノール転換については、セルロース系バイオマスからのエタノール転換プロセスにおいて用いたエタノール収量をコーンストーバーの組成を考慮した値に置き換えたものを用いた。ここで想定したコーンストーバーの組成及びエタノール転換効率は表 4.1.2 の通りである。

表 4.1.2 コーンストーバーの組成及びエタノール転換効率

項目	数値
セルロース [wt%]	37.5
ヘミセルロース [wt%]	26.1
リグニン [wt%]	18.9
合計(セルロース+ヘミセルロース) [wt%]	64
エタノール収量(dry) [L-EtOH/kg (dry)]	0.320
[gal-EtOH/kg (dry)]	84.50
含水率	15 %

以上の前提に基づき試算した、コーンストーバーもエタノール原料として利用するパスにおけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の算出結果を表 4.1.3 に示す。

表 4.1.3 米国においてコーンストーバーもエタノール原料として利用するパスのエタノール 1 MJ 製造時におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量
(左：プロセス別表示、右：項目別表示)

			資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計	化石燃料	バイオマス	その他	合計
エネルギー消費量 [MJ/MJ-EtOH]	ケーススタディ 結果	最大ケース	0.22	0.02	1.29	0.05	1.59	0.80	0.70	0.09	1.59
		最小ケース	0.15	0.02	1.10	0.05	1.32	0.49	0.81	0.02	1.32
	基準ケース (参考)	最大ケース	0.34	0.02	0.72	0.05	1.13	1.07	0.00	0.06	1.13
		最小ケース	0.21	0.02	0.49	0.05	0.76	0.72	0.00	0.03	0.76

			資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計	CO ₂ (化石)	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ (バイオ)	合計
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-EtOH]	ケーススタディ 結果	最大ケース	21.41	1.75	95.84	3.48	122.48	55.69	0.00	5.96	60.83	122.48
		最小ケース	13.88	1.64	92.28	3.48	111.28	30.70	0.00	5.39	75.19	111.28
	基準ケース (参考)	最大ケース	34.81	1.52	41.59	3.48	81.40	71.08	0.00	10.32	0.00	81.40
		最小ケース	20.92	1.35	28.22	3.48	53.97	45.07	0.00	8.90	0.00	53.97

4.1.2 ブラジルにおける余剰バガスの利用

ブラジルでのサトウキビからのエタノール製造パスに関するケーススタディとして、(1) バガス余剰分をエタノール原料に利用するケース、(2) 所内エネルギーとして利用しているバガスをエタノール原料にまわし、その代替エネルギーとして新たに軽油を投入するケース、(3) 省エネルギー技術を導入して増加したバガス余剰分をエタノール原料として利用するケース、の3種類のパスを取り上げた。

<ケーススタディ(1)> バガス余剰分をエタノール原料に利用するケース

バガス余剰分をエタノール原料に利用するケースにおけるエタノール製造パスのフロー図を図4.1.2に示す：

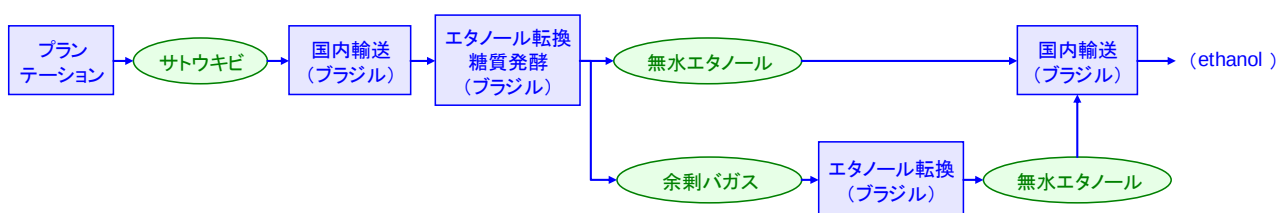


図 4.1.2 バガス余剰分も原料として利用するエタノール製造パスのフロー図

エタノール転換工場では、一般的にサトウキビの投入量に対して約30%のバガスが発生している。このバガスは主にエタノール転換工場内で消費するエネルギーの燃料として使用されている一方で、5~15%程度が余剰分として発生していると言われている。この余剰分をエタノール原料として利用した場合のエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量を試算するのが本ケースである。ここで、余剰バガスについてはセルロース系バイオマスからのエタノール転換技術を適用した場合を想定した。現時点においては、バガスからエタノールを商業的に製造している事例がないため、Kadam, K.L et al. [1999] に基づき試算した。

以上の前提に基づき試算した、バガス余剰分をエタノール原料に利用するパスにおけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の算出結果を表4.1.4に示す。

表 4.1.4 ブラジルにおいてバガス余剰分をエタノール原料として利用するパスのエタノール1 MJ 製造時におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量
(左：プロセス別表示、右：項目別表示)

			資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計	化石燃料	バイオマス	その他	合計	
エネルギー消費量 [MJ/MJ-EtOH]	ケーススタディ 結果	平均ケース	0.06	0.02	1.13	0.02	1.22	0.23	1.00	0.00	1.22	
		最良ケース	0.06	0.02	1.07	0.02	1.15	0.21	0.94	0.00	1.15	
	基準ケース (参考)	平均ケース	0.06	0.02	1.01	0.02	1.11	0.10	1.01	0.00	1.11	
		最良ケース	0.06	0.02	0.93	0.02	1.03	0.10	0.93	0.00	1.03	
			資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計	CO ₂ (化石)	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ (バイオ)	合計
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-EtOH]	ケーススタディ 結果	平均ケース	11.32	1.57	98.78	1.17	112.84	13.96	3.25	4.28	91.36	112.84
		最良ケース	10.47	1.24	92.71	1.17	105.59	13.14	3.01	3.97	85.46	105.59
	基準ケース (参考)	平均ケース	11.98	1.66	94.75	1.17	109.57	6.86	3.43	4.53	94.75	109.57
		最良ケース	11.92	1.41	87.54	1.17	102.05	6.55	3.43	4.53	87.54	102.05

＜ケーススタディ(2)＞ 所内エネルギーとして軽油を利用してバガスをエタノール原料に利用するケース

所内エネルギーとして利用しているバガスをエタノール原料にまわし、その代替エネルギーとして新たに軽油を投入するケースにおけるエタノール製造パスのフロー図を図 4.1.3 に示す：

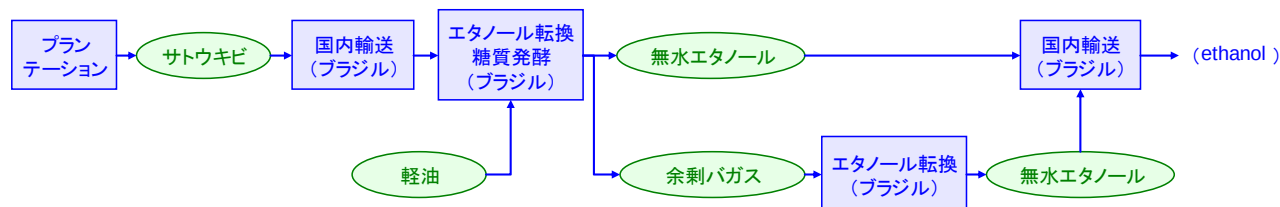


図 4.1.3 所内エネルギーに軽油を利用してバガスをエタノール原料に利用するエタノール製造パスのフロー図

エタノール転換工場内で消費するエネルギーとして利用されているバガスを、エネルギー源ではなく、積極的にエタノール原料として利用するケースを想定した場合のエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量を試算するのが本ケースである。ここで、糖質からのエタノール転換に必要な（バガスの代替）エネルギーは軽油を使用するものとし、また、バガスのエタノール転換に必要なエネルギーは基本的にリグニン残渣で賄うものとした。

以上の前提に基づき試算した、バガス余剰分をエタノール原料に利用するパスにおけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の算出結果を表 4.1.5 に示す。

表 4.1.5 ブラジルにおいて所内エネルギーとして軽油を利用してバガスをエタノール原料に利用するパスのエタノール 1 MJ 製造時におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量
(左：プロセス別表示、右：項目別表示)

			資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計	化石燃料	バイオマス	その他	合計
エネルギー消費量 [MJ/MJ-EtOH]	ケーススタディ結果	平均ケース	0.04	0.01	1.90	0.02	1.97	1.65	0.32	0.00	1.97
		最良ケース	0.03	0.01	1.23	0.02	1.29	1.08	0.21	0.00	1.29
	基準ケース (参考)	平均ケース	0.06	0.02	1.01	0.02	1.11	0.10	1.01	0.00	1.11
		最良ケース	0.06	0.02	0.93	0.02	1.03	0.10	0.93	0.00	1.03

			資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計	CO ₂ (化石)	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ (バイオ)	合計
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-EtOH]	ケーススタディ結果	平均ケース	6.94	0.96	114.25	1.17	123.32	104.89	1.99	2.62	13.83	123.32
		最良ケース	6.18	0.73	76.53	1.17	84.62	71.46	1.78	2.35	9.03	84.62
	基準ケース (参考)	平均ケース	11.98	1.66	94.75	1.17	109.57	6.86	3.43	4.53	94.75	109.57
		最良ケース	11.92	1.41	87.54	1.17	102.05	6.55	3.43	4.53	87.54	102.05

＜ケーススタディ(3)＞ 省エネルギー技術を導入して増加したバガス余剰分もエタノール原料に利用するケース

省エネルギー技術を導入して増加したバガス余剰分をエタノール原料として利用するケースにおけるエタノール製造パスのフロー図を図 4.1.4 に示す：

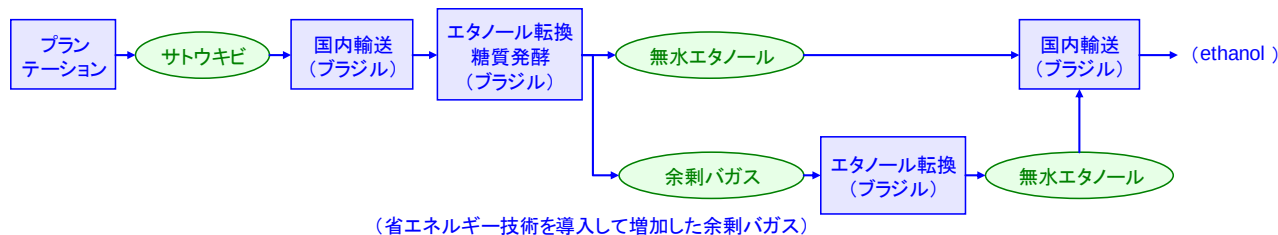


図 4.1.4 所内エネルギーに軽油を利用してバガスをエタノール原料に利用する
エタノール製造パスのフロー図

現在のブラジルのエタノール転換工場に省エネルギー技術を導入することで、燃料として利用されるバガスが減り、その減少分がエタノール原料として利用されるケースを想定した場合のエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量を試算するのが本ケースである。

ブラジルのエタノール転換工場では現在、サトウキビ絞汁後に発生するバガスをエネルギー源として利用するのが一般的である。これまでは必要なエネルギー量に対して豊富に発生するバガスを利用していても、エネルギー効率向上の余地は大きいと考えられる。一方、セルロース系バイオマスからのエタノール転換に関する技術開発の進展により、セルロース系バイオマスの一つであるバガスも原料として利用される可能性がでてきている。よって、今後、省エネルギー技術を導入しエネルギー効率向上を図ることにより、より多くのバガスを発生させることに価値を見出す可能性が高いと考えられる。

ブラジルのエタノール転換工場のプロセスは千差万別であり、いずれの工場にも適用可能な省エネルギー対象プロセスを特定することは難しいが、現時点においてブラジルではエタノール脱水を共沸蒸留で行っていることが多いと言われている。エタノール脱水については、米国を中心に膜分離技術が適用され始めており、これがエネルギー消費量削減につながりつつある。よって、ここでは、共沸蒸留をこの膜分離技術に変更した場合に削減可能なエネルギー相当のバガスの量を推計し、その分もエタノール原料として利用されるものとした。ここで、共沸蒸留から膜分離技術に変更した際のエネルギー削減可能量はエタノール1リットルあたり560kcalとした。

以上の前提に基づき試算した、バガス余剰分をエタノール原料に利用するパスにおけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の算出結果を表4.1.6に示す。

表 4.1.6 省エネルギー技術を導入して増加したバガス余剰分をエタノール原料として利用する
パスのエタノール1MJ製造時におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量
(左：プロセス別表示、右：項目別表示)

			資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計	化石燃料	バイオマス	その他	合計	
エネルギー消費量 [MJ/MJ-EtOH]	ケーススタディ 結果	平均ケース	0.06	0.02	1.16	0.02	1.25	0.37	0.88	0.00	1.25	
		最良ケース	0.05	0.02	1.01	0.02	1.09	0.28	0.81	0.00	1.09	
	基準ケース (参考)	平均ケース	0.06	0.02	1.01	0.02	1.11	0.10	1.01	0.00	1.11	
		最良ケース	0.06	0.02	0.93	0.02	1.03	0.10	0.93	0.00	1.03	
			資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計	CO ₂ (化石)	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ (バイオ)	合計
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-EtOH]	ケーススタディ 結果	平均ケース	10.59	1.47	94.10	1.17	107.33	21.87	3.04	4.00	78.43	107.33
		最良ケース	9.67	1.15	83.19	1.17	95.19	16.73	2.79	3.67	72.00	95.19
	基準ケース (参考)	平均ケース	11.98	1.66	94.75	1.17	109.57	6.86	3.43	4.53	94.75	109.57
		最良ケース	11.92	1.41	87.54	1.17	102.05	6.55	3.43	4.53	87.54	102.05

4.1.3 欧州における小麦わらの利用

欧州での小麦からのエタノール製造パスに関するケーススタディとして、主原料として利用されている小麦（実）の栽培に伴って発生する小麦わらもエタノール原料として利用するパスを取り上げた。

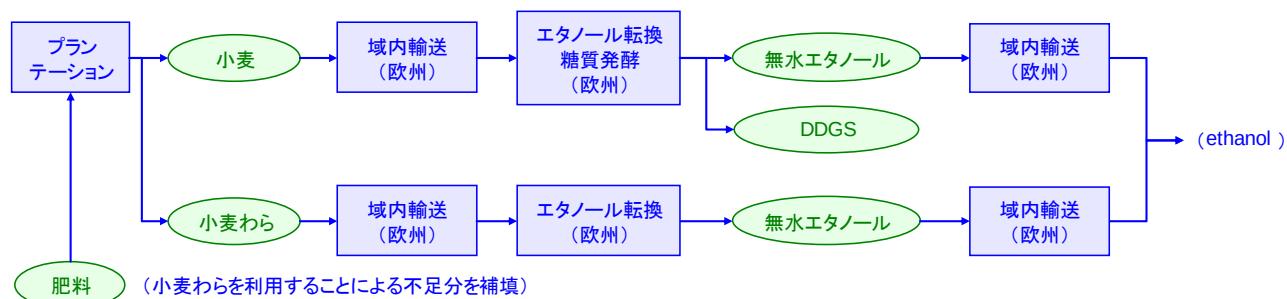


図 4.1.5 小麦わらも原料として利用するエタノール製造パスのフロー図

ここで、実の部分は澱粉質のエタノール発酵技術でエタノールを製造し、小麦わらの部分はセルロース系バイオマスのエタノール転換技術でエタノールを製造するものとした。

一般に、小麦わらは圃場へ還元されて肥料の一部として利用されているため、小麦わら由来の肥料成分が不足することになる。従って、ここでは不足する肥料相当量は化学肥料で追肥することを想定した。

以上の前提に基づき試算した、小麦わらもエタノール原料として利用するパスにおけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の算出結果を表 4.1.7 に示す。

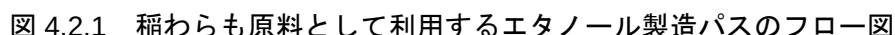
表 4.1.7 欧州において小麦わらもエタノール原料として利用するパスのエタノール 1 MJ 製造時におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量
(左：プロセス別表示、右：項目別表示)

			資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計	化石燃料	バイオマス	その他	合計	
エネルギー消費量 [MJ/MJ-EtOH]	ケーススタディ結果	最大ケース	0.13	0.01	0.88	0.01	1.03	0.42	0.39	0.22	1.03	
		最小ケース	0.13	0.01	0.85	0.01	0.99	0.41	0.45	0.13	0.99	
	基準ケース(参考)		0.17	0.01	0.53	0.01	0.71	0.54	0.00	0.17	0.71	
			資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計	CO ₂ (化石)	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ (バイオ)	合計
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-EtOH]	ケーススタディ結果	最大ケース	36.52	0.45	50.32	0.56	87.85	32.73	0.00	21.54	33.57	87.85
		最小ケース	36.52	0.45	58.13	0.56	95.66	32.14	0.00	21.54	41.98	95.66
	基準ケース(参考)		36.78	0.40	21.35	0.56	59.09	38.26	0.00	20.83	0.00	59.09

*) ここで、最大ケース、最小ケースは化石燃料由来の温室効果ガス排出量が最大または最小の意味

日本においてバイオエタノールまたは ETBE を利用するケーススタディとして、(1) 稲わらもエタノール原料として利用するケース、(2) 欧州のエタノールを ETBE として日本に輸入し利用するケース、(3) ブラジルのエタノールを輸入し日本で ETBE として利用するケース、(4) 東南アジアのエタノールを輸入し日本で ETBE として利用するケース、の 4 種類のパスを取り上げた。

稲わらもエタノール原料に利用するケースにおけるエタノール製造パスのフロー図を図 4.2.1 に示す。



一般に、稲わらは圃場へ還元されて肥料の一部として利用されているため、稲わら由来の肥料成分が不足することになる。従って、ここでは不足する肥料相当量は化学肥料で追肥することを想定した。

以上の前提に基づき試算した、稲わらもエタノール原料として利用するパスにおけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の算出結果を表 4.2.1 に示す。

			資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計	化石燃料	バイオマス	その他	合計	
エネルギー消費量 [MJ/MJ-EtOH]	ケーススタディ 結果	最大ケース	0.23	0.01	1.18	0.01	1.43	0.63	0.69	0.11	1.43	
		最小ケース	0.17	0.01	1.11	0.01	1.29	0.49	0.78	0.03	1.29	
	基準ケース (参考)	最大ケース	0.34	0.01	0.60	0.01	0.96	0.90	0.00	0.06	0.96	
		最小ケース	0.26	0.01	0.60	0.01	0.87	0.82	0.00	0.05	0.87	
			資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	合計	CO ₂ (化石)	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ (バイオ)	合計
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-EtOH]	ケーススタディ 結果	最大ケース	59.35	0.45	95.35	0.66	155.81	46.16	43.96	5.67	59.95	155.74
		最小ケース	65.35	0.48	89.25	0.66	155.74	35.71	41.94	5.41	72.75	155.81
	基準ケース (参考)	最大ケース	110.22	0.38	41.56	0.66	152.82	65.74	77.13	9.95	0.00	152.82
		最小ケース	104.71	0.38	41.56	0.66	147.31	60.23	77.13	9.95	0.00	147.31

4.2.2 欧州 ETBE の輸入

欧州のエタノールを ETBE として日本に輸入し利用するケースにおける ETBE 製造パスのフロー図を図 4.2.2 に示す。

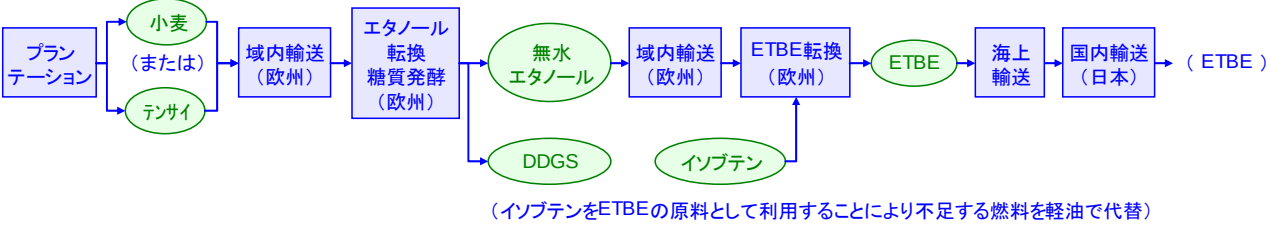


図 4.2.2 欧州のエタノールを ETBE として日本に輸入し利用する ETBE 製造パスのフロー図

日本では現在のところ、欧州から ETBE を輸入してガソリンに混合し、バイオガソリンとして石油連盟が中心となって供給している。ここでは、欧州での小麦由来のエタノールから欧州にて製造された ETBE を日本へ輸入し、利用するパスを取り上げた。

ETBE を製造する際に投入されるイソブテンは現在、石油化学や石油精製プロセスにおいて副生されており、燃料源として利用されていることが多い。本ケースでは、この副生イソブテンを ETBE の原料として利用するものとした。ここで、イソブテンは副産物であることから、イソブテンを製造するプロセスにおけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量はゼロとみなした。ただし、燃料源として利用されているイソブテンを ETBE 原料として利用することから、これまでイソブテンを燃料源として利用していたプロセスにおいて不足する燃料を軽油で代替するものとして、当該プロセスにおける軽油の利用にかかるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量を本パスに加えて算出した。

以上の前提に基づき試算した、欧州のエタノールを ETBE として日本に輸入し利用するパスにおけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の算出結果を表 4.2.2 ((A) 小麦由来、(B) テンサイ由来) に示す。

表 4.2.2 (A) 欧州のエタノールを ETBE として日本に輸入するパスの ETBE 1MJ 製造時におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量（小麦由来）

		資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	ETBE製造	燃料輸送	合計
エネルギー消費量 [MJ/MJ-ETBE]	化石燃料由来	0.05	0.00	0.13	0.00	0.11	0.04	0.34
	バイオマス由来	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	その他	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.06
	合計	0.06	0.00	0.18	0.00	0.12	0.04	0.40
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-ETBE]	CO ₂	化石燃料由来	5.48	0.14	7.33	0.19	8.72	24.59
		バイオマス由来	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	CH ₄	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N ₂ O	7.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.15
	合計	12.63	0.14	7.33	0.19	8.72	2.73	31.74

表 4.2.2 (B) 欧州のエタノールを ETBE として日本に輸入するパスの ETBE 1MJ 製造時におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量（テンサイ由来）

		資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	ETBE製造	燃料輸送	合計
エネルギー消費量 [MJ/MJ-ETBE]	化石燃料由来	0.29	0.01	0.11	0.00	0.11	0.04	0.55
	バイオマス由来	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	その他	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02
	合計	0.29	0.01	0.12	0.00	0.12	0.04	0.57
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-ETBE]	CO ₂	化石燃料由来	19.38	0.42	6.03	0.19	8.72	37.47
		バイオマス由来	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	CH ₄	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N ₂ O	15.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.42
	合計	34.80	0.42	6.03	0.19	8.72	2.73	52.89

4.2.3 ブラジルからの輸入エタノールの ETBE 利用

ブラジルのエタノールを輸入し日本で ETBE として利用するケースにおける ETBE 製造パスのフロー図を図 4.2.3 に示す。

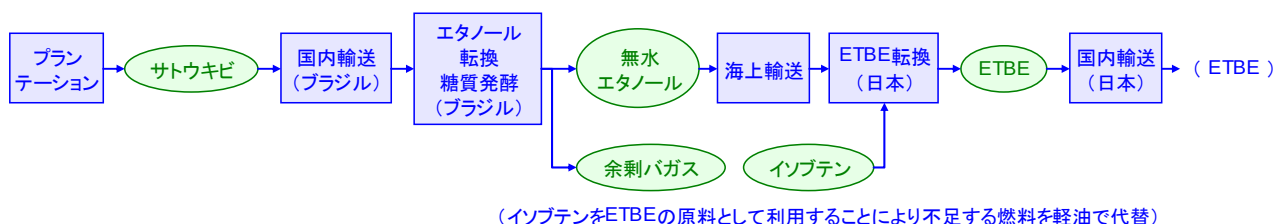


図 4.2.3 ブラジルのエタノールを輸入して日本で ETBE として利用する ETBE 製造パスのフロー図

現在のところ、糖質から製造できるブラジル産バイオエタノールは世界的に最も低コストであり、日本での導入可能性が高いと考えられている。ここでは、ブラジル産バイオエタノールを輸入して、日本国内で ETBE を製造して利用するパスを取り上げた。

本ケースにおけるブラジル産バイオエタノールは、サトウキビの糖質発酵によるエタノール転換を想定し、無水エタノールとして日本へ輸入されるものとした。また、イソブテンについては前述の欧州のエタノールを ETBE として日本に輸入し利用するケースと同様、石油化学や石油精製プロセスにおいて副生されるものを利用することとし、不足する燃料についても同様の扱い（軽油で代替）とした。

以上の前提に基づき試算した、ブラジルのエタノールを輸入し日本で ETBE として利用するパスにおけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の算出結果を表 4.2.3 ((A) 最大ケース、(B) 最小ケース) に示す。

表 4.2.3 (A) ブラジルのエタノールを輸入し日本で ETBE として利用するパスの
ETBE 1MJ 製造時におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量
(最大ケース)

			資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	ETBE製造	燃料輸送	合計
エネルギー消費量 [MJ/MJ-ETBE]	化石燃料由来		0.02	0.01	0.00	0.02	0.12	0.01	0.17
	バイオマス由来		0.00	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.35
	その他		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合計		0.02	0.01	0.35	0.02	0.12	0.01	0.52
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-ETBE]	CO ₂	化石燃料由来	1.38	0.57	0.00	1.61	8.84	0.50	12.90
		バイオマス由来	0.00	0.00	32.54	0.00	0.00	0.00	32.54
	CH ₄		1.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.18
	N ₂ O		1.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.55
	合計		4.11	0.57	32.54	1.61	8.84	0.50	48.17

表 4.2.3 (B) ブラジルのエタノールを輸入し日本で ETBE として利用するパスの
ETBE 1MJ 製造時におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量
(最小ケース)

		資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	ETBE製造	燃料輸送	合計	
エネルギー消費量 [MJ/MJ-ETBE]	化石燃料由来		0.02	0.01	0.00	0.02	0.12	0.01	0.17
	バイオマス由来		0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.32
	その他		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合計		0.02	0.01	0.32	0.02	0.12	0.01	0.49
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-ETBE]	CO ₂	化石燃料由来	1.36	0.49	0.00	1.61	8.84	0.50	12.79
		バイオマス由来	0.00	0.00	30.06	0.00	0.00	0.00	30.06
	CH ₄		1.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.18
	N ₂ O		1.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.55
	合計		4.09	0.49	30.06	1.61	8.84	0.50	45.59

4.2.4 東南アジアからの輸入エタノールの ETBE 利用

東南アジアのエタノールを輸入し日本で ETBE として利用するケースにおける ETBE 製造パスのフロー図を図 4.2.4 に示す。

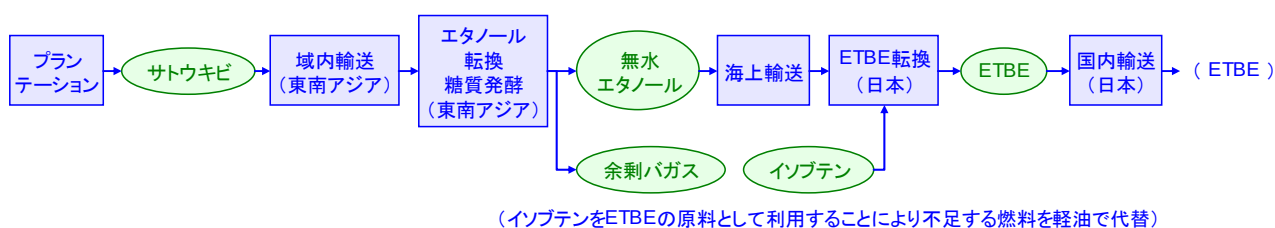


図 4.2.4 東南アジアのエタノールを輸入して日本で ETBE として利用する ETBE 製造パスのフロー図

ここでは、将来実現する可能性のある、東南アジア産バイオエタノールを輸入して、日本国内で ETBE を製造して利用するパスを取り上げた。

本ケースにおける東南アジア産バイオエタノールは、サトウキビの糖質発酵によるエタノール転換を想定し、無水エタノールとして日本へ輸入されるものとした。また、イソブテンについては前述の欧州のエタノールを ETBE として日本に輸入し利用するケースと同様、石油化学や石油精製プロセスにおいて副生されるものを利用することとし、不足する燃料についても同様の扱い（軽油で代替）とした。

以上の前提に基づき試算した、東南アジアのエタノールを輸入し日本で ETBE として利用するパスにおけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の算出結果を表 4.2.4 ((A) 最大ケース、(B) 最小ケース) に示す。

表 4.2.4 (A) 東南アジアのエタノールを輸入し日本で ETBE として利用するパスの
ETBE 1MJ 製造時におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量
(最大ケース)

			資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	ETBE製造	燃料輸送	合計
エネルギー消費量 [MJ/MJ-ETBE]	化石燃料由来		0.03	←	0.00	0.01	0.12	0.01	0.16
	バイオマス由来		0.00	←	0.34	0.00	0.00	0.00	0.34
	その他		0.00	←	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合計		0.00	←	0.34	0.01	0.12	0.01	0.47
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-ETBE]	CO ₂	化石燃料由来	4.18	←	0.00	0.64	8.84	0.50	14.16
		バイオマス由来	0.00	←	31.46	0.00	0.00	0.00	31.46
	CH ₄		0.00	←	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N ₂ O		2.15	←	0.00	0.00	0.00	0.00	2.15
	合計		6.34	←	31.46	0.64	8.84	0.50	47.77

表 4.2.4 (B) 東南アジアのエタノールを輸入し日本で ETBE として利用するパスの
ETBE 1MJ 製造時におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量
(最小ケース)

			資源供給	資源輸送	燃料転換	燃料輸送	ETBE製造	燃料輸送	合計
エネルギー消費量 [MJ/MJ-ETBE]	化石燃料由来		0.03	←	0.00	0.01	0.12	0.01	0.16
	バイオマス由来		0.00	←	0.31	0.00	0.00	0.00	0.31
	その他		0.00	←	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合計		0.00	←	0.31	0.01	0.12	0.01	0.44
温室効果ガス排出量 [g eq-CO ₂ /MJ-ETBE]	CO ₂	化石燃料由来	4.18	←	0.00	0.64	8.84	0.50	14.16
		バイオマス由来	0.00	←	28.98	0.00	0.00	0.00	28.98
	CH ₄		0.00	←	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	N ₂ O		2.15	←	0.00	0.00	0.00	0.00	2.15
	合計		6.34	←	28.98	0.64	8.84	0.50	45.29

5. 結果の考察と今後の展開

5.1 評価対象としたバイオ燃料の Well-to-Tank における算出結果

本報告において算出したバイオ燃料の Well-to-Tank におけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量（バイオマス由来の CO₂ 排出量を含む場合、含まない場合）について、燃料の種類別に整理した一覧を次に示す。ここで、(CS) と表示してあるのは 4 章で実施したケーススタディの結果である。また、ブラジル及び東南アジアでのサトウキビからのエタノール製造パスについては、日本で利用するケースも併記した。

5.1.1 バイオエタノール

(1) エネルギー消費量 [MJ/MJ-EtOH (LHV)]

	生産(栽培) → 転換 → 利用	Well-to-Tank		
		最小*	代表値	最大*
コーン	米国 → 米国 → 米国 (CS: コーンストーバー利用)	0.76 1.32		1.13 1.59
セルロース系バイオマス	米国 → 米国 → 米国	2.00		2.21
サトウキビ	ブラジル → ブラジル → ブラジル (CS1: 余剰バガス利用) (CS2: 所内エネルギー→軽油利用) (CS3: 省エネ技術導入)	1.03 1.15 1.29 1.09		1.11 1.22 1.97 1.25
サトウキビ	ブラジル → ブラジル → 日本 (CS1: 余剰バガス利用) (CS2: 所内エネルギー→軽油利用) (CS3: 省エネ技術導入)	1.08 1.20 1.33 1.13		1.16 1.27 2.01 1.30
小麦	欧州 → 欧州 → 欧州 (CS: 小麦わら利用)	0.99	0.71	1.03
テンサイ	欧州 → 欧州 → 欧州		1.22	
サトウキビ	東南アジア → 東南アジア → 東南アジア	1.10		1.17
サトウキビ	東南アジア → 東南アジア → 日本	1.11		1.19
コメ	日本 → 日本 → 日本 (CS: 稲わら利用)	0.87 1.29		0.96 1.43
間伐材	日本 → 日本 → 日本	1.95		1.95

(*) 「平均ケース」は「最大ケース」、「最良ケース」は「最小ケース」とした

(2) 温室効果ガス排出量 [g-eq CO₂/MJ-EtOH (LHV)]

① バイオマス由来 CO₂ 排出量を含む場合

	生産(栽培) → 転換 → 利用	Well-to-Tank		
		最小*	代表値	最大*
コーン	米国 → 米国 → 米国 (CS: コーンストーパー利用)	53.97 111.28		81.40 122.48
セルロース系バイオマス	米国 → 米国 → 米国	192.99		234.02
サトウキビ	ブラジル → ブラジル → ブラジル (CS1: 余剰バガス利用) (CS2: 所内エネルギー→軽油利用) (CS3: 省エネ技術導入)	102.05 105.59 84.62 95.19		109.57 112.84 123.32 107.33
サトウキビ	ブラジル → ブラジル → 日本 (CS1: 余剰バガス利用) (CS2: 所内エネルギー→軽油利用) (CS3: 省エネ技術導入)	105.55 109.09 88.12 98.69		113.07 116.35 126.82 110.83
小麦	欧州 → 欧州 → 欧州 (CS**: 小麦わら利用)	95.66	59.09	87.85
テンサイ	欧州 → 欧州 → 欧州		120.68	
サトウキビ	東南アジア → 東南アジア → 東南アジア	103.53		110.75
サトウキビ	東南アジア → 東南アジア → 日本	104.83		112.05
コメ	日本 → 日本 → 日本 (CS**: 稲わら利用)	147.31 155.81		152.82 155.74
間伐材**	日本 → 日本 → 日本	180.32		152.04

(*) 「平均ケース」は「最大ケース」、「最良ケース」は「最小ケース」とした

(**) 「最小」「最大」は化石燃料由来の温室効果ガス排出量に限定した場合に基づく表示

② バイオマス由来 CO₂ 排出量を含まない場合

	生産(栽培) → 転換 → 利用	Well-to-Tank		
		最小*	代表値	最大*
コーン	米国 → 米国 → 米国 (CS: コーンストーパー利用)	53.97 36.09		81.40 61.65
セルロース系バイオマス	米国 → 米国 → 米国	25.18		50.32
サトウキビ	ブラジル → ブラジル → ブラジル (CS1: 余剰バガス利用) (CS2: 所内エネルギー→軽油利用) (CS3: 省エネ技術導入)	14.51 20.13 75.58 23.18		14.82 21.49 109.50 28.90
サトウキビ	ブラジル → ブラジル → 日本 (CS1: 余剰バガス利用) (CS2: 所内エネルギー→軽油利用) (CS3: 省エネ技術導入)	18.01 23.63 79.09 26.69		18.32 24.99 113.00 32.41
小麦	欧州 → 欧州 → 欧州 (CS: 小麦わら利用)	53.68	59.09	54.27
テンサイ	欧州 → 欧州 → 欧州		120.68	
サトウキビ	東南アジア → 東南アジア → 東南アジア	19.14		19.14
サトウキビ	東南アジア → 東南アジア → 日本	20.44		20.44
コメ	日本 → 日本 → 日本 (CS: 稲わら利用)	147.31 83.06		152.82 95.79
間伐材	日本 → 日本 → 日本	7.92		20.26

(*) 「平均ケース」は「最大ケース」、「最良ケース」は「最小ケース」とした

5.1.2 ETBE

(1) エネルギー消費量 [MJ/MJ-ETBE (LHV)]

	生産(栽培) → 転換 → 利用	Well-to-Tank		
		最小*	代表値	最大*
小麦	欧州 → 欧州 → 欧州		0.37	
小麦	欧州 → 欧州 → 日本		0.40	
テンサイ	欧州 → 欧州 → 欧州		0.54	
テンサイ	欧州 → 欧州 → 日本		0.57	
サトウキビ	ブラジル → ブラジル → 日本	0.49		0.52
サトウキビ	東南アジア → 東南アジア → 日本	0.44		0.47
コメ	日本 → 日本 → 日本	0.43		0.45
間伐材	日本 → 日本 → 日本	0.76		0.76

(*) 「平均ケース」は「最大ケース」、「最良ケース」は「最小ケース」とした

(2) 温室効果ガス排出量 [g-eq CO₂/MJ-ETBE (LHV)]

① バイオマス由来を含む場合

	生産(栽培) → 転換 → 利用	Well-to-Tank		
		最小*	代表値	最大*
小麦	欧州 → 欧州 → 欧州		29.44	
小麦	欧州 → 欧州 → 日本		31.74	
テンサイ	欧州 → 欧州 → 欧州		50.59	
テンサイ	欧州 → 欧州 → 日本		52.89	
サトウキビ	ブラジル → ブラジル → 日本	45.59		48.17
サトウキビ	東南アジア → 東南アジア → 日本	45.29		47.77
コメ	日本 → 日本 → 日本	59.93		61.82
間伐材**	日本 → 日本 → 日本	71.26		61.55

(*) 「平均ケース」は「最大ケース」、「最良ケース」は「最小ケース」とした

(**) 「最小」「最大」は化石燃料由来の温室効果ガス排出量に限定した場合に基づく表示

(注) ETBEは上記の他にTank-to-Wheelにおいてイソブテン起源の温室効果ガス(48.95 kg-CO₂/MJ-ETBE(LHV))が排出される

② バイオマス由来を含まない場合

	生産(栽培) → 転換 → 利用	Well-to-Tank		
		最小*	代表値	最大*
小麦	欧州 → 欧州 → 欧州		29.44	
小麦	欧州 → 欧州 → 日本		31.74	
テンサイ	欧州 → 欧州 → 欧州		50.59	
テンサイ	欧州 → 欧州 → 日本		52.89	
サトウキビ	ブラジル → ブラジル → 日本	15.53		15.63
サトウキビ	東南アジア → 東南アジア → 日本	16.31		16.31
コメ	日本 → 日本 → 日本	59.93		61.82
間伐材	日本 → 日本 → 日本	12.06		16.30

(*) 「平均ケース」は「最大ケース」、「最良ケース」は「最小ケース」とした

(注) ETBEは上記の他にTank-to-Wheelにおいてイソブテン起源の温室効果ガス(48.95 kg-CO₂/MJ-ETBE(LHV))が排出される

5.1.3 BDF

(1) エネルギー消費量 [MJ/MJ-FAME (LHV)]

	生産(栽培)	→	転換	→	利用	Well-to-Tank
大豆	米国	→	米国	→	米国	1.11
大豆	ブラジル	→	ブラジル	→	ブラジル	0.43
菜種	欧州	→	欧州	→	欧州	0.46
アブラヤシ	東南アジア	→	東南アジア	→	東南アジア	0.44
アブラヤシ	東南アジア	→	東南アジア	→	日本	0.45

(2) 温室効果ガス排出量 [g-eq CO₂/MJ-FAME (LHV)]

① バイオマス由来を含む場合

	生産(栽培)	→	転換	→	利用	Well-to-Tank
大豆	米国	→	米国	→	米国	75.59
大豆	ブラジル	→	ブラジル	→	ブラジル	30.28
菜種	欧州	→	欧州	→	欧州	38.73
アブラヤシ	東南アジア	→	東南アジア	→	東南アジア	47.86
アブラヤシ	東南アジア	→	東南アジア	→	日本	48.73

② バイオマス由来を含まない場合

	生産(栽培)	→	転換	→	利用	Well-to-Tank
大豆	米国	→	米国	→	米国	75.59
大豆	ブラジル	→	ブラジル	→	ブラジル	30.28
菜種	欧州	→	欧州	→	欧州	38.73
アブラヤシ	東南アジア	→	東南アジア	→	東南アジア	13.41
アブラヤシ	東南アジア	→	東南アジア	→	日本	14.28

5.2 結果の考察と今後の展開について

本報告では、特にバイオ燃料に焦点をあて、前回の報告以降、新たに収集・整理した情報をもとに Well-to-Tank でのエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量の算出を行った。なお、バイオ燃料製造パスの選定にあたっては、前回の報告とは異なり日本国内に限定せず、導入が進みつつある世界の主要国・地域に注目して行った。また、温室効果ガス排出量のうち CO₂ 排出量については、その発生源別（化石燃料由来、バイオマス由来）に整理した。

5.2.1 バイオエタノールに関する算出結果の比較

バイオエタノールに関する本報告での算出結果の比較を図 5.2.1（(A) エネルギー消費量、(B) 温室効果ガス排出量）に示す。

米国でのコーン、ブラジルでのサトウキビ<ケーススタディ(2) : 所内エネルギーとして軽油を利用するケース>、欧州でのテンサイ、日本でのコメ、それぞれからエタノールを製造するパスにおける化石燃料由来のエネルギー消費量が多い。それぞれプランテーション時の施肥量によるところが大きく、また、米国でのコーンとブラジルでのサトウキビ<ケーススタディ(2)>では

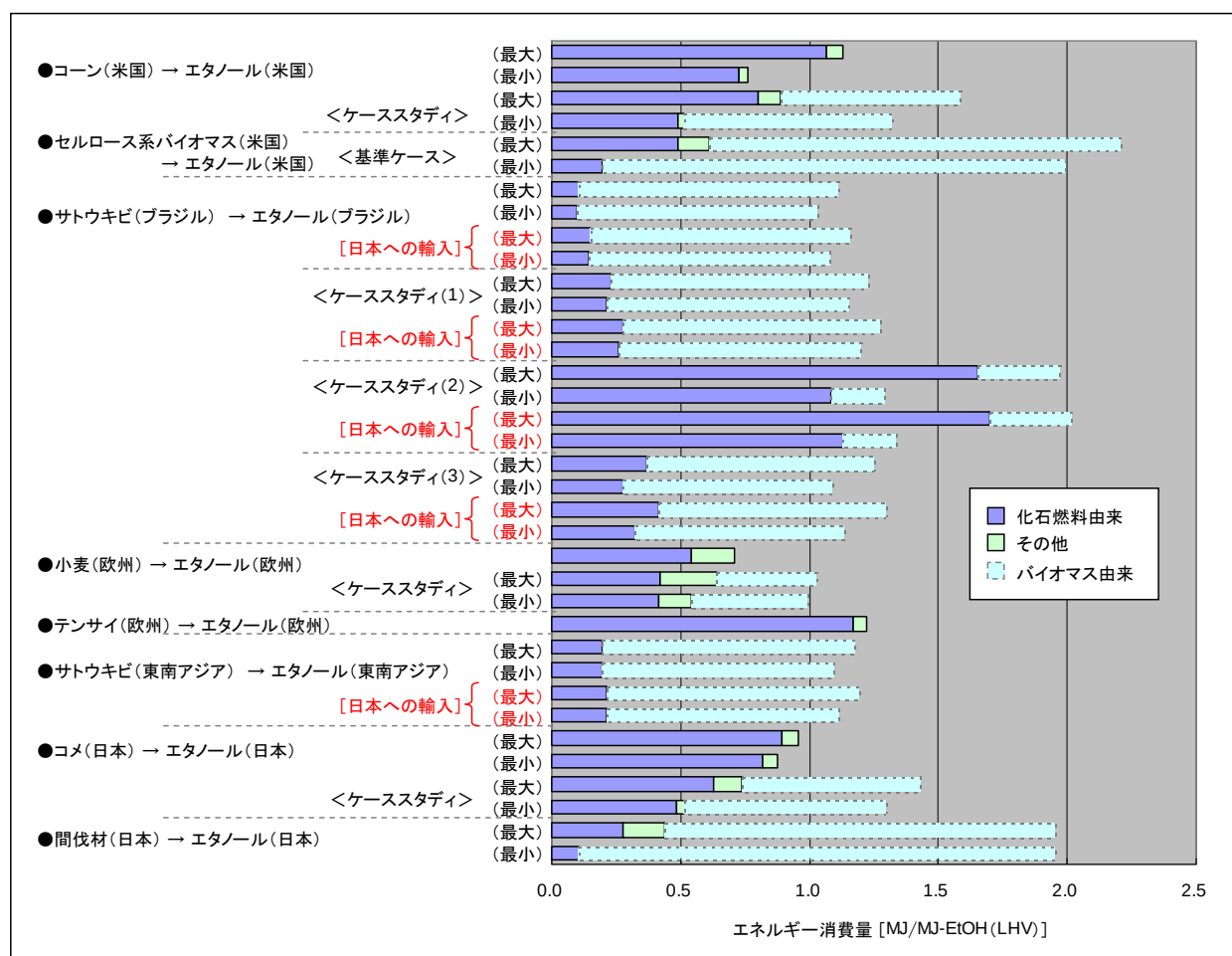
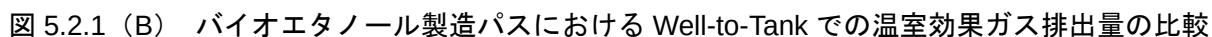


図 5.2.1 (A) バイオエタノール製造パスにおける Well-to-Tank でのエネルギー消費量の比較



一方、温室効果ガス排出量の視点からは、前述の化石燃料由来のエネルギー消費量が多いパスにおいては総じて化石燃料由来の CO₂ 排出量も大きくなっている。また、プランテーション時の施肥量との関連からみた場合、特に N 系肥料の施肥量が多いパスは N₂O の排出も大きくなっている。そして、日本でのコメからのエタノール製造パスについては、水田からの CH₄ 排出量が大きく、バイオマス由来の CO₂ 排出量を除いた温室効果ガス排出量は、本報告で対象としたパスの中では最も大きい値となった。

– 72 –

5.2.2 BDF に関する算出結果の比較

BDF に関する本報告での算出結果の比較を図 5.2.2 ((A) エネルギー消費量、(B) 温室効果ガス排出量) に示す。

米国での大豆からの BDF 製造パスにおけるエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量は、本報告で対象とした他のパスに比べ大きな値となった。これは、搾油等において化石燃料をエネルギー源としていることが主な要因である。一方、東南アジアでのアブラヤシからの BDF 製造パスにおいては、搾油等においてもバイオマス由来のエネルギーを使用しているため、バイオマス由来の CO₂ 排出量を含めた温室効果ガス排出量の総量は大きくなる。しかしながら、それらを除いてみた場合は、米国での大豆からの BDF 製造パスにおける温室効果ガス排出量の 5 分の 1 以下となるという結果となった。

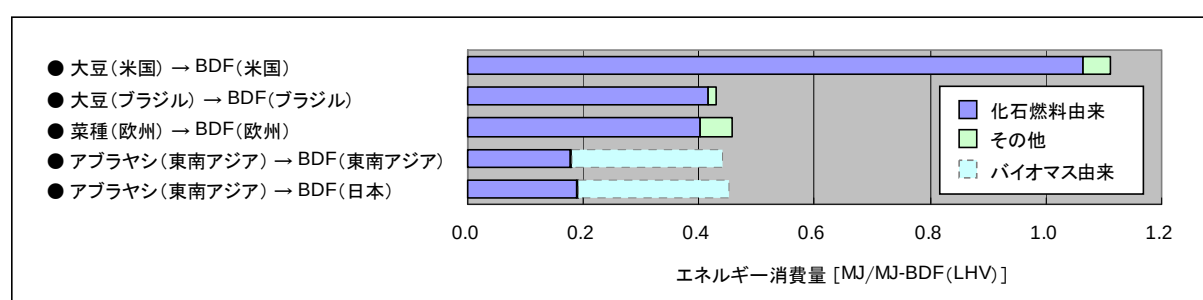


図 5.2.2 (A) BDF 製造パスにおける Well-to-Tank でのエネルギー消費量の比較

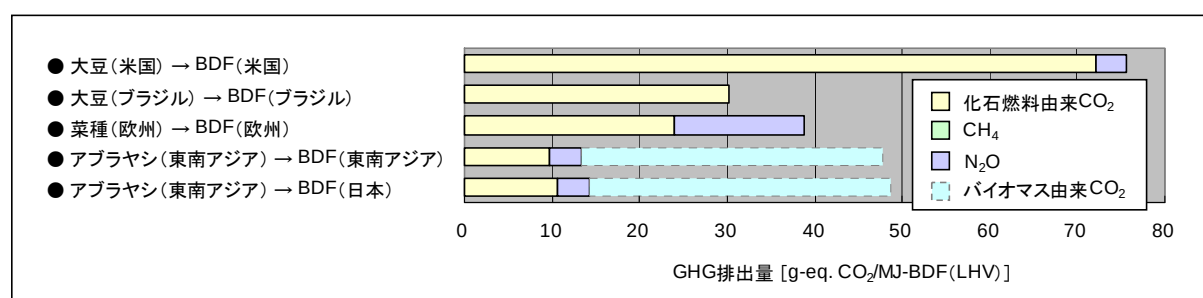


図 5.2.2 (B) BDF 製造パスにおける Well-to-Tank での温室効果ガス排出量の比較

5.2.3 輸送用燃料 1 MJ 製造時のエネルギー消費量と温室効果ガス排出量の関係

本報告で算出した輸送用燃料 1 MJ を製造する時のエネルギー消費量と温室効果ガス排出量の関係を図 5.2.3 に示す。バイオ燃料の多くは、ガソリンや軽油に比べ温室効果ガス排出量は小さいものの、多くのエネルギーを消費するという結果となった。また、プランテーション時の施肥量が多いパスや燃料転換時のエネルギー源に化石燃料を用いているパスにおける温室効果ガス排出量は、ガソリンや軽油よりも値が大きくなった。特にコメについては、水田からの CH_4 や N_2O 等の温室効果ガスが結果に大きく寄与している。

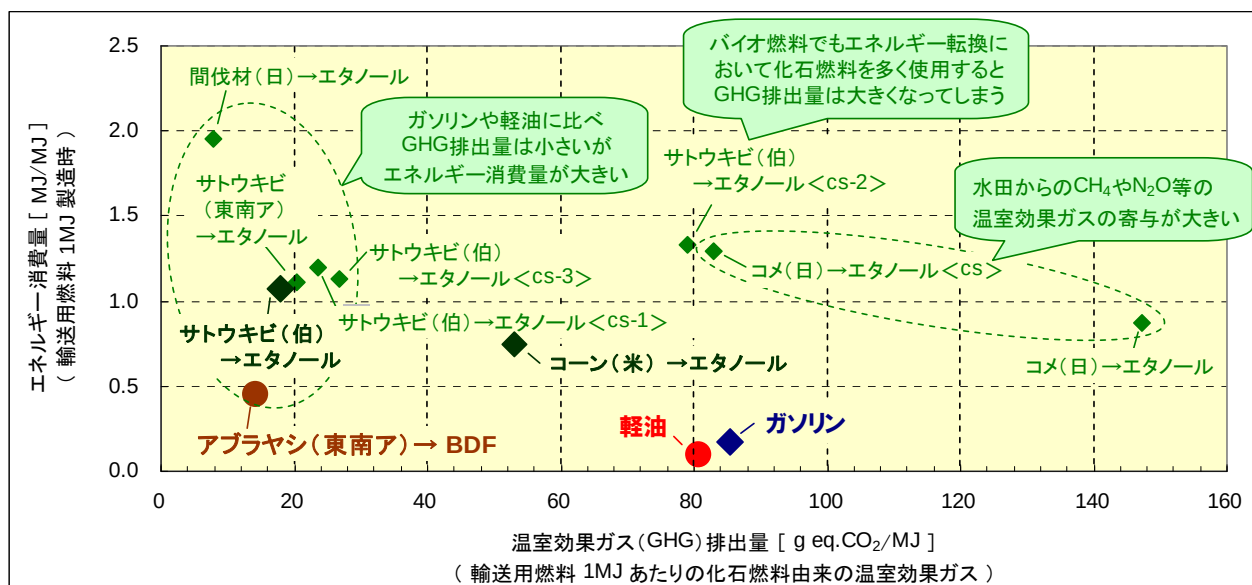


図 5.2.3 輸送用燃料 1 MJ を製造する時のエネルギー消費量と温室効果ガス排出量の関係

(図中の<cs><cs-O>はケーススタディの略 (4 章参照))

5.2.4 今後の展開

前回報告にも記載したように、本報告における結果の信頼性及びその適用性は、算出の前提条件に大きく依存している。例えば、昨今注目されつつある土地の利用の変化に伴う温室効果ガスについて、本報告では考慮していない。これらの扱いについては今後の検討課題の一つである。

Well-to-Tank 及び Well-to-Wheel での分析結果は、将来の技術や燃料の選択を検討するための重要な要素の 1 つである。本報告で取り上げなかった燃料製造パスを含め、今後も引き続き本研究を行っていく予定である。

5.3 [参考] Well-to-Wheel での温室効果ガス排出量の算出結果の一例

参考までに Tank-to-Wheel（燃料タンクから車両走行まで）に関するデータとあわせた、日本におけるセダン系乗用車の所定の条件下での Well-to-Wheel での温室効果ガス排出量の一例を図 5.3（(A) 前回報告と同様の表示形式、(B) 発生源別（化石燃料由来、バイオ燃料由来）表示形式）に示す。ここで、Tank-to-Wheel の算定条件は前回報告と同様の内容である。

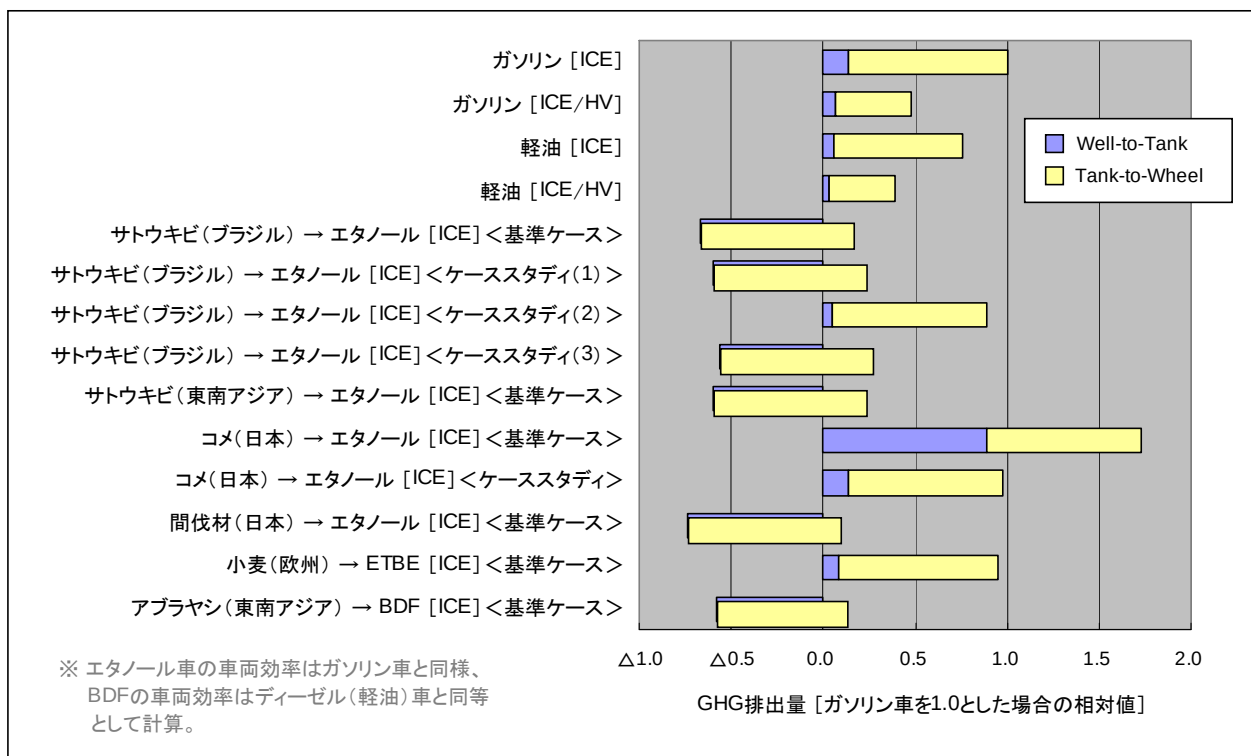


図 5.3 (A) 日本における Well-to-Wheel での温室効果ガス排出量算出結果の一例
(前回報告と同様の表示形式)

<Tank-to-Wheel の算定条件は前回報告（みずほ情報総研 [2004]）を参照>

※用語の解説

ICE : Internal Combustion Engine (内燃機関)

HV : Hybrid Vehicle (ハイブリッド車)

BDF : Bio Diesel Fuel (生物由来油から作られる軽油代替燃料の総称)

サトウキビ(ブラジル) → エタノール [ICE]

<ケーススタディ(1)> ブラジルにおいてバガス余剰分をエタノール原料として利用するケース

<ケーススタディ(2)> 所内エネルギーとして利用しているバガスをエタノール原料にまわし、その代替エネルギーとして新たに軽油を投入するケース

<ケーススタディ(3)> 省エネルギー技術を導入して増加したバガス余剰分をエタノール原料として利用するケース

コメ(日本) → エタノール [ICE]

<ケーススタディ> 日本において稲わらもエタノール原料として利用するケース

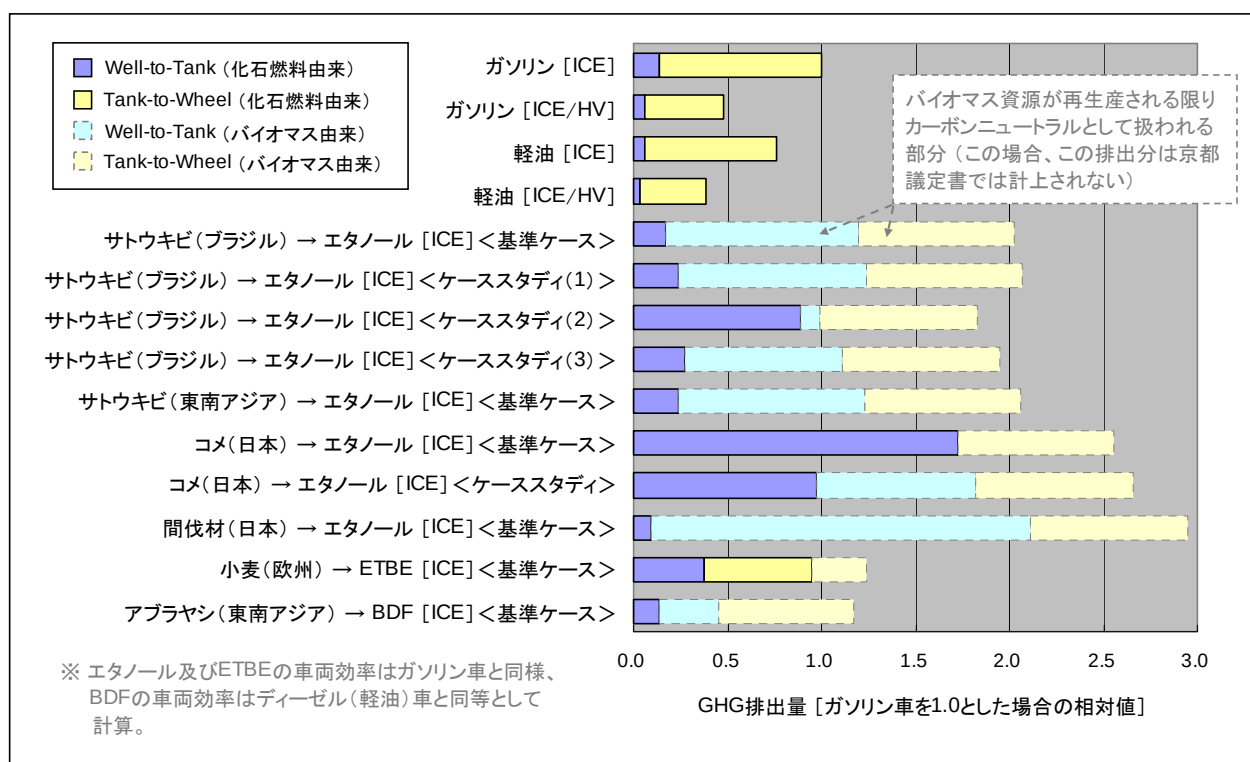


図 5.3 (B) 日本における Well-to-Wheel での温室効果ガス排出量算出結果の一例
(発生源別(化石燃料由来、バイオ燃料由来)表示形式)

<Tank-to-Wheel の算定条件は前回報告(みずほ情報総研[2004])を参照>

バイオ燃料について、原料の種類や産地の違いにより燃料製造時における温室効果ガス排出量は大きくばらつく結果となった。また、バイオマス由来の CO₂ 排出量(=図 5.3 (B)において点線部分)を含めた Well-to-Wheel での温室効果ガス排出量については、すべてのパスにおいて総量でガソリン車等を上回るという結果となった。ただし、バイオマス由来の CO₂ 排出量をカーボンニュートラルであると捉えた場合、日本におけるバイオ燃料に関する Well-to-Wheel での温室効果ガス排出量は、コメから製造したエタノールを除き、ガソリン車より小さい値となった。

なお、本報告で示した Well-to-Wheel での温室効果ガス排出量の算出結果は、ある条件下でのケーススタディであり、この結果によってバイオ燃料の種類及び各製造パスの優劣を議論できるものではない。バイオ燃料については、原料の生産場所や燃料の利用場所、供給量、使い勝手等、幅広い見地から総合的に評価していくことが必要である。

6. 参考文献

- Cattanach, A., W.C. Dahnke, C. Fanning [1992] : “*Fertilizing sugarbeet*”, NDSU Extension Service, North Dakota State University (USA) , Record number: US9407802
- Franke, B. and G. Reinhardt [1998] : “*Environmental impacts of biodiesel use*”, BioEnergy '98: Expanding BioEnergy Partnerships, pp.1032-1041
- Macedo, I.C. [1998] : “*Greenhouse gas emissions and energy balances in bio-ethanol production and utilization in Brazil (1996)*”, Biomass and Bioenergy Vol.14, No.1, pp.77-81
- Sheehan, J., V. Camobreco, J. Duffield, M. Graboski, H. Shapouri [1998] : “*Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus*”, Final Report, prepared by U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Energy, NREL/SR-580-24089 UC Category 1503, Download at : <http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf>
- Glassner, D., J. Hettenhaus [1999] : “*CORN STOVER, APPROACHING ITS REAL WORTH*”, Download at : <http://www2.ctic.purdue.edu/Core4/ctic-dc.ppt>
- Kadam, K.L., V.J. Camobreco & B.E. Glazebrook, L.H. Forrest & W.A. Jacobson, D.C. Simeroth, W.J. Blackburn, and K.C. Nehoda [1999] : “*Environmental Life Cycle Implications of Fuel Oxygenate Production from California Biomass*”, Technical Report, prepared under Task No. WG900101, National Renewable Energy Laboratory (NREL), U.S. DOE, NREL/TP-580-25688, Download at : <http://www.nrel.gov/docs/fy99osti/25688.pdf>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [2001] : “*Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*”
- Samson, R., T. Helwig, D. Stohl, A. De Maio, P. Duxbury, T. Mendoza and A. Elepano [2001] : “*Strategies for Enhancing Biomass Energy Utilization in the Philippines*”, National Renewable Energy Laboratory (NREL), NREL/SR-510-30813, Download at : http://www.reap-canada.com/online_library/Reports%20and%20Newsletters/International%20Development/7%20Strategies%20for.pdf
- Aden, A., M. Ruth, K. Ibsen, J. Jechura, K. Neeves, J. Sheehan, B. Wallace, L. Montague, A. Slayton, and J. Lukas [2002] “*Lignocellulosic Biomass to Ethanol Process Design and Economics Utilizing Co-Current Dilute Acid Prehydrolysis and Enzymatic Hydrolysis for Corn Stover*”, prepared under Task No. BFP2.A410, National Renewable Energy Laboratory (NREL), U.S. DOE, NREL/TP-510-32438, Download at : <http://www.afdc.doe.gov/pdfs/6483d.pdf>
- Graboski, M.S. [2002] : “*Fossil Energy Use in the Manufacture of Corn Ethanol*”, Colorado School of Mines
- Corley R.H.V., R.B. Tinker [2003] : “*The Oil Palm. 4th Edition*”, Blackwell Science: Oxford
- Institute for Energy and Environmental Research Heidelberg GmbH [2003] : “*Life Cycle Assessment of Biodiesel: Update and New Aspects (Final Report)*”, By order of the Union for the Promotion of Oil and Protein Plants, Berlin, Germany, Project No. 530/025

- Low Carbon Vehicle Partnership (LowCVP) [2004] : “*Well-to-Wheel Evaluation for Production of Ethanol from Wheat*”, A Report by the LowCVP Fuels Working Group, WTW Sub-Group, Download at : <http://www.lowcvc.org.uk/assets/viewpoints/Biofuels%20WTW%20final%20report.pdf>
- Macedo, I.C., M.R.L.V. Leal, J.E.A.R. Silva [2004] : “*Assessment of greenhouse gas emissions in the production and use of fuel ethanol in Brazil*”, Government of the State of São Paulo, Download at : http://www.eners.ch/plateforme/medias/macedo_2004.pdf
- Patzek, T.W. [2004] : “*Thermodynamics of the Corn-Ethanol Biofuel Cycle*”
- Shapouri, H., J. Duffield, A. McAloon (USDA), M. Wang (USDOE/ANL) [2004] : “*The 2001 Net Energy Balance of Corn-Ethanol*”
- Kulay, L.A., G.A. da Silva [2005] : “*Comparative Screening LCA of Agricultural Stage of Soy and Castor beans*”, 2nd International Conference on Life Cycle Management – LCM2005
- Ortega, E., O. Cavalett, R. Bonifácio, M. Watanabe [2005] : “*Brazilian Soybean Production: Emergy Analysis With an Expanded Scope*”, Bulletin of Science, Technology & Society, Vol. 25, No. 4, August 2005, pp.323-334
- Pimentel, D., T.W. Patzek [2005] : “*Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower*”, Natural Resources Research, Vol. 14, No. 1, March 2005
- Ferguson, R.B, C.A. Shapiro, A.R. Dobermann, C.S. Wortmann [2006] : “*Fertilizer Recommendations For Soybeans*”, Published by University of Nebraska-Lincoln Extension, Institute of Agriculture and Natural Resources, Download at : <http://www.ianrpubs.unl.edu/epublic/live/g859/build/g859.pdf>
- U.S. Environmental Protection Agency [2006] : “*An Assessment of the Potential for Energy Savings in Dry Mill Ethanol Plants from the Use of Combined Heat and Power (CHP)*”, Prepared by U.S. Environmental Protection Agency Combined Heat & Power Partnership, Energy and Environmental Analysis, Inc. Download at : http://www.epa.gov/CHP/documents/ethanol_energy_assessment.pdf
- European Council for Automotive R&D (EUCAR), CONCAWE & JRC/IES, assisted by personnel from LBST & IFP [2007] : “*Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context*”, WELL-TO-TANK Report Version 2c, Appendix 1, Downlad at: <http://ies.jrc.ec.europa.eu/our-activities/support-to-eu-policies/well-to-wheels-analysis/WTW.html>
- GREET 1.8a [2007] : “*The Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation (GREET) Model*”, The Center for Transportation Research, Energy Systems Division at Argonne National Laboratory. http://www.transportation.anl.gov/modeling_simulation/GREET/
- Schmidt, J.H. [2007] : “*Life cycle assessment of rapeseed oil and palm oil. Ph.D. thesis, Part 1: Summary report*”, Published by: Department of Development and Planning, Aalborg University, Download at : http://vbn.aau.dk/fbspretrieve/10387996/summary_report
- U.S. Department of Agriculture [2007] : “*Ethanol Transportation Backgrounder - Expansion of U.S. Corn-based Ethanol from the Agricultural Transportation Perspective*”, September 2007, Download at : <http://www.ams.usda.gov/AMSV1.0/getfile?dDocName=STELPRDC5063605&acct=atpub>

- Perrin, R.K., K.P. Vogel, M.R. Schmer, and R.B. Mitchell [2008] : “*Farm-Scale Production Cost of Switchgrass for Biomass*”, BioEnergy Research, DOI: 10.1007/s12155-008-9005-y, Springer New York, pp.91-97
- Girouard, P., B. Mehdi and R. Samson : “*Commercial Production of Switchgrass in Eastern Ontario: A Management Guide*”, Resource Efficient Agricultural Production (R.E.A.P.)- Canada Research Reports, Download at : http://www.reap-canada.com/online_library/Reports%20and%20Newsletters/Bioenergy/19%20Commercial%20Production.pdf
- 小川和夫、竹内豊、片山雅弘 [1988] : 「北海道の牧草地におけるバイオマス生産量及び作物による無機成分吸収量」、北海道農業試験場研究報告 149 号、pp.57-91、Download at : <http://rms1.agsearch.agropedia.affrc.go.jp/contents/JASI/pdf/JASI/39-1921.pdf>
- 農林水産省農業環境技術研究所 [2000] : 「農業におけるライフサイクルアセスメント」、ISBN-10: 4842500646
- 環境省 [2002] : 「温室効果ガス排出量算定に関する検討結果 第 3 部 運輸分科会報告書 農業分科会報告書 廃棄物分科会報告書」、温室効果ガス排出量算定方法検討会
- 工藤啓一、村山成治、佐々木長市、泉完、福地博、殿内暁夫、松山信彦、泉谷眞実 [2003] : 「環境保全型農業及び省エネルギー稲作の推進」、平成 15 年度弘前大学重点研究、Download at: <http://www1.cjr.hirosaki-u.ac.jp/seeds/17/p11.pdf>
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構 [2003] : 「国際エネルギー使用合理化等対策事業 国際エネルギー消費効率化等モデル事業 パーム油利用バイオディーゼル燃料製造モデル事業実施可能性調査」、NEDO-IC-02EF09
- 独立行政法人農業環境技術研究所 [2003-1] : 「「環境影響評価のためのライフサイクルアセスメント手法の開発」研究成果報告書」、Download at: http://www.niaes.affrc.go.jp/project/lca/lca_r.pdf
- 独立行政法人農業環境技術研究所 [2003-2] : 「LCA 手法を用いた農作物栽培の環境影響評価実施マニュアル」、Download at: http://www.niaes.affrc.go.jp/project/lca/lca_m.pdf
- 早田健治 [2004] : 「スイングヤーダ、プロセッサによる列状間伐作業の分析結果」、機械化林業 No.612 2004.11、Download at : <http://www.green.pref.tokushima.jp/shinrin/ringyo/pdf/kikaikaringyo612.pdf>
- みずほ情報総研株式会社 [2004] : 「輸送用燃料の Well-to-Wheel 評価 日本における輸送用燃料製造(Well-to-Tank)を中心とした温室効果ガス排出量に関する研究報告書」、トヨタ自動車株式会社委託調査、Download at : <http://www.mizuho-ir.co.jp/research/documents/wtwghg041130.pdf>
- 環境省エコ燃料利用推進会議 [2006] : 「輸送用エコ燃料の普及拡大について」、参考資料 2 : コメを原料とするバイオエタノール製造・利用等に関する調査事業実施結果について(全農営農総合対策部)、Download at : http://www.env.go.jp/earth/ondanka/conf_ecofuel/rep1805/ref_2.pdf
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構 [2006] : 「バイオマスエネルギー高効率転換技術開発/セルロース系バイオマスを原料とする新規なエタノール醗酵技術等により燃料用エタノールを製造する技術の開発 平成 13 年度～平成 17 年度成果報告書」
- 新日鉱テクノリサーチ株式会社 [2006] : 「平成 17 年度 CDM/JI 事業調査 ブラジル・大豆油バイオディーゼル燃料の生産事業調査報告書」、平成 17 年度環境省委託事業